Mineralogische Untersuchungen an drei Bodenprofilen: auf Zechsteinletten, Unterem Buntsandstein und Zechsteindolomit

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

vorgelegt von

Helmut Nordmeyer

aus Kassel

Göttingen, im Mai 1959

Referent: Prof. Dr. C. W. Correns

Korreferent: Prof. Dr. F. Scheffer

Tag der mündlichen Prüfung: 19. 6. 1959

Beiträge zur Mineralogie und Petrographie 7, 1—44 (1959)

Mineralogische Untersuchungen an drei Bodenprofilen: auf Zechsteinletten, Unterem Buntsandstein und Zechsteindolomit

Von

HELMUT NORDMEYER

Mit 11 Textabbildungen

(Eingegangen am 27. Juli 1959)

Inhaltsübersicht

Seite

Einleitung 1

Teil A. Bestimmung des qualitativen und quantitativen Mineralbestandes

I. Untersuchungsmethoden 2
Profilwahl und Probennahme S. 2. — Aufbereitung und Korngrößenanalyse S. 2. — Mikroskopische und röntgenographische Verfahren S. 3. — p_H-Messung S. 4.

II. Das Bodenprofil auf Zechsteinletten 5
Profilbeschreibung und Ausgangsmaterial S. 5. — Mineralbestand S. 6. — Korngrößen- und Mineralverteilung im Profil S. 8.

III. Das Bodenprofil auf Unterem Buntsandstein 11
Profilbeschreibung und Ausgangsmaterial S. 11. — Mineralbestand S. 11. — Korngrößen- und Mineralverteilung im Profil S. 13.

IV. Das Bodenprofil auf Zechsteindolomit 15
Profilbeschreibung und Ausgangsmaterial S. 15. — Mineralbestand und Korngrößenverteilung S. 16.

Teil B. Feststellung und Identifizierung mikromorphologischer Elemente anhand von Bodendünnschliffen

I. Dünnschliffherstellung 18
Probennahme S. 18. — Imprägnierung S. 19. — Schneiden und Schleifen S. 20.

II. Optische und röntgenographische Methoden zur Dünnschliffuntersuchung . . . 20
Probleme der Mineralbestimmung im Dünnschliff S. 20. — Das Kegelkammerverfahren nach BRAITSCH S. 22.

III. Das Bodenprofil auf Zechsteinletten 23
Strukturübersicht S. 23. — Fließ- und Sedimentationserscheinungen im Profil S. 27. — Bleichzonen S. 35.

IV. Das Bodenprofil auf Unterem Buntsandstein 38
Strukturübersicht S. 38.

V. Das Bodenprofil auf Zechsteindolomit 38
Strukturübersicht S. 38.

Auswertung und Profilvergleich 39

Zusammenfassung 42

Literatur 43

Einleitung

In Fortsetzung der im Sedimentpetrographischen Institut der Universität Göttingen durchgeführten mineralogischen Untersuchungen an Bodenprofilen wird hier eine Arbeit vorgelegt, deren Ergebnis zunächst von regionaler Bedeutung ist: ein Beitrag zur Kenntnis der Bodenbildungen auf Zechsteinletten (zo), Unterem Buntsandstein (su) und Zechsteindolomit (zm) am südwestlichen Harzrand.

Bei der Untersuchung eines Bodenprofils ermöglichen die bisher erprobten sedimentpetrographischen Methoden der Korngrößen- und Mineralanalyse lediglich Aussagen über die Durchschnittszusammensetzung der Proben und über bereits stattgefundene Substanzverlagerungen. Deshalb wird hier der Versuch unternommen, anhand von Bodendünnschliffen einen Einblick in die bei ungestörter Lagerung des Bodens vorliegende natürliche Mineralverteilung und -anordnung sowie in die Mechanik der Substanzwanderungen zu gewinnen.

Im ersten Teil der Arbeit wird der in allen drei Profilen vorhandene Mineralbestand mit Hilfe von Korngrößenanalysen, mikroskopischen und röntgenographischen Verfahren qualitativ und quantitativ ermittelt. Der zweite Teil befaßt sich mit der Feststellung und Identifizierung mikromorphologischer Elemente in Bodendünnschliffen. Dabei werden die Problematik der Dünnschliffherstellung und die Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrens für mineralogische Untersuchungen diskutiert.

Teil A. Bestimmung des qualitativen und quantitativen Mineralbestandes

I. Untersuchungsmethoden

Profilwahl und Probennahme

Die Voraussetzungen für die Profilwahl sind eng mit der Aufgabenstellung verknüpft. Die mineralogische Betrachtungsweise rückt die anorganische Komponente in den Vordergrund und macht es erforderlich, daß Klima- und Vegetationseinflüsse für die Objekte vergleichender Untersuchungen möglichst konstant gewählt werden. Der Einfluß des Muttergesteins auf die Bodenbildung kann nur dann richtig erfaßt werden, wenn ein Profil mittlerer Tiefe von der Vegetationsdecke bis zum anstehenden Gesteinsuntergrund vollständig aufgeschlossen wird. Zu flachgründige Rohböden und übermäßig tiefe Bodenbildungen in sog. Verwitterungstaschen oder im Bereich doppelter Profile sind nicht geeignet. Die Möglichkeit von Fremdeinflüssen im Profil — Einwaschungen und Einwehungen — kann durch Beachtung der orographischen Verhältnisse verringert werden. Die wichtigste Voraussetzung, eine anthropogen ungestörte Bodenentwicklung, findet sich noch am ehesten unter älteren Hochwaldbeständen auf seit langer Zeit waldwirtschaftlich genutzten Lagen.

Nach eingehender Geländeerkundung und Anlage mehrerer Schurfstellen zur Prüfung von Profilmächtigkeit und -ausbildungsform wurden geeignete Geländepunkte für die Probennahme ausgewählt; und zwar für Zechsteinletten und Unteren Buntsandstein am Beberteich SW Barbis und für Zechsteindolomit etwa 3 km davon entfernt auf den Brandköpfen NE Scharzfeld (Näheres s. Profilbeschreibungen!). Es wurden drei Profile von je 100—120 cm Breite und 120 bis 130 cm Tiefe aufgegraben. Zunächst wurden, über die ganze Profilwand verteilt, 20—30 Proben in Glasröhrchen für die Dünnschliffherstellung (s. dort), sodann für die Korngrößenanalyse Mischproben der einzelnen Horizonte in gut verschließbaren Probengläsern entnommen.

Aufbereitung und Korngrößenanalyse

Zur Trennung von Bodengerüst und Feinboden wurde die Kies- und Geröllfraktion mit dem 2 mm-Sieb trocken abgesiebt. Dabei wurden die stabilen

Bodenkrümel mit dem Holzpistill vorsichtig zerlegt und die auf dem Sieb zurückbleibenden Gesteinsbruchstücke und härteren Lettenbrocken mit einem Pinsel von anhaftenden feineren Anteilen befreit. Die Einwaage zur Schlämmanalyse erfolgte vom Feinboden (< 2 mm ⌀).

Die weitere Aufbereitung geschah nach der Normalmethode von Odén durch Suspendieren in 0,01 n NH_4OH-Lösung (Correns 1932, 1955). Die Proben wurden 24—36 Std in einer rotierenden Schüttelmaschine geschüttelt. Mit einem Siebsatz wurden die Fraktionen 2000—630 μ, 630—200 μ und 200—63 μ ⌀ naß abgesiebt, die feineren durch Sedimentieren im Atterberg-Zylinder weiter aufgeteilt (63—20/20—6,3/6,3—2,0/$< 2\,\mu$ ⌀).

Die Aufbereitung des Ausgangsmaterials für die Bodenbildung in den Profilen auf Zechsteinletten und Unterem Buntsandstein war ebenfalls mit Hilfe der Schlämmanalyse möglich. Der Letten (zo) wurde in einer Porzellanschale in 0,01 n Ammoniakwasser eingeweicht und mit dem Glasstab zerdrückt. Der tonige Sandstein (su) mußte vorher im Holzmörser durch Stoßen zerkleinert werden. Für die Untersuchung des Zechsteindolomits wurden Dünnschliffe angefertigt. Außerdem wurde der Lösungsrückstand untersucht (Lösungsmittel Monochloressigsäure).

Mikroskopische und röntgenographische Verfahren

Die Minerale der Korngrößenfraktionen 200—6,3 μ ⌀ wurden unter dem Polarisationsmikroskop bestimmt und ausgezählt. Für die Korngrößen über 200 μ ⌀ genügte das Binokular ($42^1/_2$fach). Die mikroskopischen Streupräparate waren in Kanadabalsam ($n = 1{,}54$) eingebettet. In einigen Fällen wurden Gelatinepräparate für die genaue Lichtbrechungsbestimmung nach der Einbettungsmethode und für die Unterscheidung der Feldspäte (Orthoklas $< 1{,}527$ $<$ Plagioklas) und der Karbonate (Kalzit $< 1{,}670 < n_w$Dolomit) hergestellt. Je Präparat wurden 400 Mineralkörner ausgezählt.

Für die Untersuchung der Tonfraktionen stand ein Röntgengoniometer Müller-Mikro-III zur Verfügung, das mit Texturpräparaten nach Jasmund beschickt wurde. Die Herstellung dieser Präparate erfolgt, indem man eine Tonsuspension auf einen ebenen Objektträger sedimentieren läßt. Die Blattsilikate ordnen sich mit ihren 001-Flächen parallel zur Unterlage an und ergeben bei der Durchstrahlung im Röntgengoniometer bevorzugt die zur Identifizierung der Tonminerale wichtigen Basisreflexe. Glykolgesättigte Präparate erleichterten die Unterscheidung zwischen Chlorit und Montmorillonit (Bradley), Erhitzungspräparate (550° C) die zwischen Chlorit und Kaolinit (Jasmund, Zwetsch). Die Illitart (di- oder trioktaedrisch) wurde an Hand der 020- und 060-Reflexe mit Hilfe der Guinier-Kamera nach v. Wolff bestimmt. Die Problematik der quantitativen Röntgenanalyse wurde bereits von v. Engelhardt (1955) diskutiert. Für die vorliegenden Untersuchungen genügte die Abschätzung der relativen Quantität. Das Verhältnis der verschiedenen Tonminerale zueinander wurde durch den Vergleich von Reflexen gleicher Intensität innerhalb einer Aufnahme ermittelt. Dieser Vergleich wurde an mehreren Aufnahmen desselben Materials wiederholt. Zur Unterstützung der röntgenographischen Untersuchung wurde in einigen Fällen die Differential-Thermoanalyse herangezogen.

p_H-*Messung*

Die Messung der Wasserstoffionenkonzentration erfolgte elektrometrisch mit der Einstab-Glaselektrode für jeden Horizont der untersuchten Profile. Die Bodensubstanz wurde dazu im Volumverhältnis 1:2,5 in 0,1 n KCl-Lösung suspendiert. Je Probe wurden 3—4 Messungen ausgeführt und die Ergebnisse gemittelt.

Die ermittelten Werte geben anschaulich die relativen Verhältnisse innerhalb der Profile wieder, jedoch liegen die absoluten Meßwerte der Profile auf Zechsteinletten und Unterem Buntsandstein auffällig niedrig. Dies war Veranlassung zu einer kurzen Überprüfung der Abhängigkeit des p_H-Wertes der Bodenproben von der Art und dem p_H-Wert des Suspensionsmittels.

Tabelle 1. *Ergebnisse der* p_H*-Messung in 0,1 n KCl-Aufschlämmung*

Unterer Buntsandstein		Zechsteinletten		Zechsteindolomit	
Horizont	p_H-Wert	Horizont	p_H-Wert	Horizont	p_H-Wert
A_1	3,42	A_1	3,57	A	7,25
A_2	3,60	A_2	3,91	C_1	7,50
B	3,47	B_1	4,58	C_2	7,70
C_1	3,92	B_2	5,05	C_3	8,33
C_S	3,75	C	5,10		

Als den natürlichen Verhältnissen am nächsten kommender Standard wurde der lufttrockene Boden herangezogen. Bei der Messung wurde die Bodensubstanz um die Elektrode herum fest angedrückt, um eine gut leitende Verbindung zu erhalten. Der natürliche Feuchtegehalt der Böden schwankt sehr stark nach Bodenart, Jahreszeit und Witterung. Im Durchschnitt läßt sich ein Volumverhältnis Boden : Wasser = 1:0,2—0,5 angeben. Der p_H-Wert des naturfeuchten Bodens weicht nur unwesentlich von dem des lufttrockenen Bodens ab (CHAPMAN).

Anhand der Tabelle 2 läßt sich ein unterschiedliches Verhalten der Böden auf Buntsandstein und Zechsteinletten gegenüber dem Dolomitboden feststellen. Die an H^+ reichen, tonigen Böden zeigen in H_2O-Suspension (1:2,5) gegenüber

Tabelle 2. *Übersicht über die* p_H*-Messungen zur Prüfung der Abhängigkeit des* p_H*-Wertes von Art und* p_H*-Wert des Suspensionsmittels*

Suspensionsmittel	p_H	Volumverhältnis Boden: Suspensionsmittel	p_H-Wert der Böden auf			
			su (tonig)	zo (tonig)	zm (Dolomit)	
					Pr. 120	Pr. 130
H_2O (Aqua dest.)	6,5	1:2,5	4,85	6,40	8,10	8,30
Ohne	—	lufttrocken	4,72	6,30	7,45	7,50
0,1n KCl	6,0	1:2,5	4,00	5,20	7,50	7,70
Feuchtegehalt des lufttrockenen Bodens (bestimmt nach Trocknung bei 110° C)			9,6%	12,7%	2,3%	1,9%

der lufttrockenen Probe nur eine geringfügige p_H-Erhöhung innerhalb der Fehlergrenze ($\pm 0{,}2$ p_H), die als Angleichung an das p_H des Suspensionsmittels erklärt werden kann. Bei Suspension in 0,1 n KCl (1:2,5) liegen die gemessenen Werte aber um 1,0 p_H unter dem $p_{H_{(H_2O)}}$ und dem natürlichen Standard. Dies Verhalten läßt sich nicht allein auf das unterschiedliche p_H der Suspensions-

mittel zurückführen. Vielmehr kommt es durch Austausch der K^+ aus der Lösung gegen die H^+ des Bodens zur Bildung von HCl-Molekülen.

Auf H^+-armen, karbonathaltigem Boden führt die Aufschlämmung in H_2O zu einer stärkeren p_H-Erhöhung gegenüber dem Standard, während in 0,1 n KCl-Suspension die Werte des lufttrockenen Bodens annähernd erreicht werden. Die p_H-Erhöhung ist auf die Lösung von Karbonaten durch die im Suspensionsmittel enthaltene Kohlensäure zurückzuführen. Die Differenz zwischen $p_{H_{(H_2O)}}$ und $p_{H_{(KCl)}}$ entspricht im vorliegenden Fall dem p_H-Unterschied der Suspensionsmittel.

Es wird festgestellt, daß die absoluten Ergebnisse der p_H-Messung für die Böden auf Buntsandstein und Zechsteinletten in H_2O-Suspension, für den Dolomitboden in 0,1 n KCl-Suspension den natürlichen Verhältnissen am ehesten entsprechen.

II. Das Bodenprofil auf Zechsteinletten

Profilbeschreibung und Ausgangsmaterial

Das Zechsteinlettenprofil befindet sich SW Barbis am Südufer des Beberteiches unter Fichtenhochwald (Geol. Meßtischblatt Bad Lauterberg). Der Beberteich verdankt seine Entstehung der unterirdischen Auswaschung des im Oberen Zechstein zwischengelagerten Jüngeren Bändergipses, verbunden mit einem Nachbrechen der hangenden Lettenschichten. Es handelt sich um eine sog. Dolinenbildung, wie sie zumeist in Form von langgestreckten Wannen die ganze Zone des Oberen Zechsteins im südwestlichen Harzvorland charakterisiert. Das Bodenprofil liegt am südlichen Dolinenrand mit 1,20 m Mächtigkeit auf den in ihrer Lagerung nicht gestörten Lettenschichten. Diese streichen SE—NW und fallen mit etwa 30° nach SW ein. Die Einschlagstelle befindet sich 8 m vom Teich entfernt und 3 m über dem Wasserspiegel.

Tabelle 3. *Horizontverteilung im Bodenprofil auf Zechsteinletten*

Bezeichnung	Tiefe cm	Beschreibung
A_1	0—10	mittelbraun, sandig, mit unzersetztem Fichtennadelrohhumus durchsetzt
A_2	10—40	rotbraun, lehmig, leicht humos, durchwurzelt
B_1	40—80	tief rotbraun mit grüngrauen Flecken, lehmig-tonig mit feinen Lettenbröckchen
B_2	80—120	rotbrauner Lehm und Lettenzersatz
C	ab 120	gerichtete Lettenbänke

Es konnten nach Farbe, Struktur und Durchwurzelung drei Horizonte (A, B, C) unterschieden werden, von denen sich der A- und der B-Horizont noch in je zwei Subhorizonte aufgliedern ließen. Der B_1-Horizont ist durch das Auftreten grünlicher Stauwasserflecken charakterisiert. Im C-Horizont des Profils liegt der rotviolette, sehr feinkörnige Zechsteinletten in Form von senkrecht zur Schichtung abgespaltenen Bänkchen und Platten vor. Eine Feinschichtung ist makroskopisch nicht erkennbar. Die Oberflächenkartierung verzeichnet außerdem Einlagerungen von knollig-porösem, dolomitischem Kalkstein, der im Aufschluß jedoch nicht auftrat. Da es möglich war, den Letten denselben Aufbereitungsverfahren zu unterwerfen wie die übrigen Proben der Bodenhorizonte, soll die nähere Untersuchung der Korngrößen-

verteilung und des Mineralbestandes im folgenden zusammen mit den Horizonten des Bodenprofiles dargestellt werden.

Mineralbestand

Die mikroskopischen und röntgenographischen Untersuchungen ergaben für den Letten wie für die auflagernden Bodenhorizonte den gleichen qualitativen Mineralbestand. Hauptkomponenten im Korngrößenbereich über 6,3 μ ⌀ sind Quarz, Feldspat und Glimmer, im Tonmineralbereich außerdem Illit und Chlorit. Abweichungen finden sich hinsichtlich der Korngröße und der quantitativen Verteilung beim Vergleich der Horizonte.

Der *Quarz*anteil nimmt im Bodenprofil von unten nach oben — vom Ausgangsmaterial zur Bodenoberfläche — erheblich zu, wobei sich die mittlere Korngröße von 20—63 μ vom B_1-Horizont an aufwärts in den Bereich 63 bis 200 μ ⌀ verschiebt. Ein Wechsel in der morphologischen Kornausbildung ist damit jedoch nicht verbunden. Die Körner sind mäßig gerundet bis kantig, vielfach mit rotbraunen oder farblosen Schüppchen (Hämatit, Serizit?) besetzt und mehr oder weniger stark mit braunem Eisenhydroxyd berindet. Im A-Horizont ist der Eisenhydroxydbesatz der Quarze geringer als im B_2-Horizont oder im Letten selbst. Idiomorphe Ausbildung wurde in keinem Fall beobachtet.

Die Bestimmung der *Feldspäte* im Bodenprofil auf möglicherweise mehrmals umgelagertem Sedimentuntergrund ist mit besonderen Schwierigkeiten verbunden, da keinerlei Hinweise vom Ausgangsmaterial her vorhanden sind und zum anderen die vorliegenden Feldspäte — zum Großteil von der Verwitterung angegriffen — nur selten kristallographische Umgrenzungen, Spaltrisse oder Zwillingslamellierung erkennen lassen. Bei der Auszählung wurden deshalb zunächst nach der Lichtbrechung und wo möglich nach Achsenbild und Achsenwinkel Orthoklase und Plagioklase unterschieden. Nur an geeigneten Exemplaren konnten weitere Bestimmungen vorgenommen werden.

Plagioklase sind in der Überzahl vorhanden. Infolge ihres geringen Anorthitgehaltes (10—20%) müssen sie in den Bereich Albit-Oligoklas eingeordnet werden. Die Plagioklase des Letten sind etwas anorthitreicher. Sie gehören zum Teil in den Bereich Oligoklas-Andesin. Unter den Orthoklasen ließen sich einige frisch aussehende Sanidine an ihrem sehr kleinen Achsenwinkel erkennen. Der Anteil der Orthoklase am Gesamtfeldspat beträgt ungefähr 20%. Die mittlere Korngröße liegt für die Feldspäte durchgehend bei 20—63 μ ⌀.

Die Lichtbrechung der im Streupräparat untersuchten *Glimmer* bewegt sich zwischen $n = 1{,}580$—$1{,}610$, liegt jedoch in den meisten Fällen im Bereich von $n = 1{,}596$—$1{,}598$. Nach dem Achsenwinkel und der Farbe im Präparat lassen sich folgende Gruppen von Glimmern unterscheiden:

a) Achsenwinkel $2\,V = 0$—$60°$, überwiegend 12—40°, Achsenbild deutlich zweiachsig; unregelmäßige Blättchen, farblos bis leicht grau oder gelblich, selten mit roten, grauen oder grünen Schüppchen besetzt, nie pleochroitisch.

b) Achsenwinkel $2\,V = 0°$, Achsenbild einachsig; unregelmäßige Blättchen, zum Teil mit korrodierten Rändern, braungelb, grüngrau, dunkelolivgrün, vielfach dicht mit Hämatitschüppchen besetzt oder braunrot berostet, manchmal deutlicher Pleochroismus.

Bei der ersten Gruppe, den farblosen Glimmern, handelt es sich ausschließlich um Muskovit. Nach RIMSAITE zeigen entfärbte Biotite immer noch Restfarben. Die Entfärbung beginnt an den Rändern oder geht von Spaltrissen aus. Die Gruppe der farbigen Glimmer besteht in der Hauptsache aus grünlichem Biotit (Lepidomelan). Daneben finden sich aber auch braunrot berostete oder intensiver gefärbte Muskovite mit kleinen Achsenwinkeln.

Im Letten kommen beide Glimmerarten zu gleichen Teilen nebeneinander vor. Im oberen Teil des Profils finden sich aber fast ausschließlich farblose, zweiachsige und einige isotrope Glimmerblättchen. Der Äquivalentdurchmesser liegt für die Hauptmasse der Glimmer im Boden zwischen 6,3 und 63 μ, im Letten jedoch zwischen 20 und 200 μ und erreicht hier sogar maximal 600 μ ⌀.

Die *grobkörnigen Aggregate* sind vor allem in den Fraktionen über 200 μ ⌀ anzutreffen. Sie bestehen aus miteinander verkitteten Quarzkörnern, Feldspäten und Glimmern. Je nachdem das Bindemittel mehr aus organischen Bestandteilen, Tonmineralen, drei- oder zweiwertigen Eisenverbindungen zusammengesetzt ist, zeigen die Aggregate hell- bis mittelbraune, schwarzbraune oder grünlichweiße Farben. Im A- und C-Horizont herrschen die hell- bis mittelbraunen Aggregate vor, im B-Horizont gibt es mehr schwarzbraune, während die grünlichweißen den Stauwasserflecken im Profil entstammen.

Die abgerundeten, rotbraunen und weißen *feinkörnigen Aggregate* kommen in relativ großer Menge in allen Fraktionen und allen Horizonten vor. Sie wurden deshalb röntgenographisch in Texturpräparaten näher untersucht und erwiesen sich als aggregierte Anteile der Tonfraktion unter 6,3 μ ⌀, bestehend aus

Illit, Quarz, Hämatit, Feldspat und Chlorit,

wobei die relative Quantität mit der Reihenfolge abnimmt. Auf Grund der stärkeren Anreicherung im Letten und besonders im B-Horizont darf man annehmen, daß es sich sowohl um stabile, tonige Lettenbröckchen wie auch um sekundär im Profil zusammengeschwemmtes und zusammengeballtes Tonmaterial handelt. Die feinkörnigen Aggregate können auf Grund der geringen durchschnittlichen Korngröße ihrer Komponenten zum Tonanteil des Profils hinzugerechnet werden.

An *Nebengemengteilen* finden sich im Profil außer hochlichtbrechenden Mineralen noch etwas Dolomit, Hämatit, vereinzelt Glaukonit in den Stauwasserflecken, opake, organische Substanzen und einige isotrope Blättchen mit $n = 1{,}50$ (Opal?) in den feineren Fraktionen.

Das Zechsteinlettenprofil ist reich an *Tonmineralen*. Im Letten selbst beträgt der Grob- und Feintonanteil unter 6,3 μ ⌀ 26%, wozu noch 18% feinkörnige Aggregate hinzugerechnet werden können. Im darüberliegenden Bodenprofil ist der Tongehalt aber noch wesentlich höher und vor allem im B-Horizont stark angereichert. Der B_2-Horizont liegt dabei mit einem Gesamttongehalt von 68% an der Spitze. Davon sind rund 18% Feinton (< 2 μ ⌀), 23% Grobton (2,0—6,3 μ ⌀, Def. nach CORRENS 1949) und 27% feine Aggregate. Auch der A-Horizont hat mit durchschnittlich 28% Ton und 8% Aggregaten noch einen beachtlichen Anteil an den feinen Korngrößen.

Der rotviolette Letten enthält in der Fraktion < 2 μ ⌀ vorwiegend Illit (di- und trioktaedrisch) und Chlorit, die größenordnungsmäßig auf 60 bzw. 30% geschätzt werden, außerdem etwas Hämatit und nur wenig Quarz und Feldspat.

Tabelle 4. *Mineralbestand der Tonfraktionen*

Fraktion μ ⌀	A_1-Horizont	A_2-Horizont	B_1-Horizont	B_2-Horizont	C-Horizont
<2	Illit Chlorit Hämatit Quarz Feldspat	Illit Chlorit Hämatit Feldspat	Illit Chlorit Quarz Feldspat Hämatit	Illit Chlorit Hämatit	Illit Chlorit Hämatit Quarz Feldspat (relative Quantität abnehmend)
2—6,3	Glimmer Quarz Chlorit Feldspat Hämatit	Glimmer Quarz Chlorit Feldspat Hämatit	Glimmer Quarz Chlorit Feldspat Hämatit	Quarz Glimmer Feldspat Chlorit Hämatit	Glimmer Quarz Feldspat Chlorit Hämatit

Das Bodenprofil zeigt denselben qualitativen Mineralbestand, und auch quantitativ treten nur geringfügige Abweichungen auf (s. Tabelle 4). In der Grobtonfraktion 2,0—6,3 μ ⌀ stehen die Glimmer an erster Stelle vor dem Quarz. Der Chlorit tritt in dieser Fraktion stärker zurück. Letten und B_2-Horizont enthalten viel feinkörnigen Feldspat. Hämatit ist überall in geringen Mengen vorhanden.

Korngrößen- und Mineralverteilung im Profil

Anhand der graphischen Darstellungen (s. Tabellen 6—11), lassen sich die einzelnen Horizonte miteinander vergleichen und Unregelmäßigkeiten in der Korngrößenverteilung der Minerale erkennen.

Durch den Abtransport der weniger verwitterungsbeständigen und feinkörnigeren Komponenten in den Untergrund reichert sich der Quarz in den oberen Horizonten relativ stärker an. Sein Anteil nimmt von 15% im Letten bis 43% an der Bodenoberfläche erheblich zu. Die mittlere Korngröße des Quarzes, im Letten und noch im B_2-Horizont bei 20—63 μ ⌀, erfährt in der Mitte des Profils eine plötzliche Verschiebung zu 63—200 μ ⌀. Im B_1-Horizont ist dieser Korngrößenwechsel noch verbunden mit dem Auftreten besonders zahlreicher größerer Quarze von 200—630 μ, ja bis 2000 μ ⌀. Da im Letten selbst nur ganz vereinzelt solche großen Körner auftreten, ist man geneigt, eine anderweitige Herkunft anzunehmen. Eine Einwehung aus der nächsten Umgebung wäre denkbar. Der nächstliegende Untere Buntsandstein, der im SW des Profils in der heutigen Hauptwindrichtung dem Oberen Zechstein aufgelagert ist, enthält aber noch weniger über 200 μ große Quarze als der Zechsteinletten und zeigt selbst keine Anreicherungszone dafür. Zudem sind die vorliegenden Körner nur mäßig gerundet, oft kantig ausgebildet, und nichts deutet auf eine Sortierung hin. Das Fehlen jeglicher kristallographischer Umgrenzungen schließt eine Neubildung oder Kornvergrößerung im Sediment völlig aus. Am naheliegendsten ist die Erklärung durch Unregelmäßigkeiten in der Zusammensetzung des Letten. Es könnte sich bei den großen Quarzen um die Rückstände früherer grobkörnigerer Lettenschichten handeln. Darauf deuten auch die Mächtigkeit des B_1-Horizontes, der mit 40 cm etwa ein Drittel des Profils ausmacht, und die Lage in der Mitte des Profils.

Bei der Verteilung der Feldspäte erkennt man bei gleichbleibender Hauptkorngröße eine mengenmäßige Abnahme sowohl vom A-Horizont aus, als auch

vom Letten aus in Richtung auf den B_2-Horizont. Parallel dazu verlaufen — ebenfalls in beiden Richtungen — eine Korngrößenverkleinerung bei den Glimmern und eine erhebliche Zunahme des Tonanteils $< 6{,}3\,\mu$ ⌀ und der feinen Aggregate. Der Quarz- und Feldspatgehalt nimmt dabei in der Grobtonfraktion auch relativ zu. Der B_2-Horizont charakterisiert sich damit als Anreicherungszone für die feinkörnigen Verwitterungsprodukte des Oberbodens sowie gleichermaßen als Zersatzzone für das Liegende. Die Anreicherung wird auch im quarzreichen B_1-Horizont spürbar, der mit 23,6% den meisten Feinton enthält.

Auffällig ist der hohe Feldspatgehalt im A_2-Horizont. Die Hauptmenge besteht dabei aus Plagioklasen der Fraktion 20—63 μ ⌀. Der Korngröße nach

Tabelle 5. *Korngrößenverteilung im Zechsteinlettenprofil*

Fraktion (μ ⌀)	A_1-Horizont	A_2-Horizont	B_1-Horizont	B_2-Horizont	C-Horizont	
2000—630	3,2	2,1	3,0	5,0	6,8	
630—200	8,5	4,9	15,7	7,5	7,3	
200—63	26,2	24,0	20,2	10,1	12,2	
63—20	22,6	30,7	17,6	20,9	28,5	= 100%
20—6,3	10,7	11,2	10,0	15,7	19,2	
6,3—2,0	8,5	6,6	9,9	22,6	12,0	
< 2,0	20,3	20,5	23,6	18,2	14,0	
Feinboden < 2 mm ⌀	90,4	81,1	77,8	84,5	—	= 100%
Bodengerüst > 2 mm ⌀	9,6	18,9	22,2	15,5	—	

Tabelle 6. *Mineralverteilung im Gesamtprofil*

Horizont	Quarz	Glimmer	Feldspat	Hochlichtbrechend	Aggregate grob	Aggregate fein	Sonstiges	Anteil < 6,3 μ	Summe
A_1	43,39	4,05	10,30	1,11	2,39	8,25	1,35	28,80	100,00
A_2	24,57	11,72	19,51	1,70	5,29	8,03	2,08	27,10	100,00
B_1	24,95	6,67	10,17	2,28	2,64	18,05	1,74	33,50	100,00
B_2	18,86	5,42	3,84	1,32	1,90	27,37	0,49	40,80	100,00
C	14,90	12,63	13,12	1,35	13,08	17,71	1,21	26,00	100,00

Tabelle 7. *Mineralbestand im A_1-Horizont*

Korngröße μ ⌀	Horizont %	Quarz	Glimmer	Feldspat Plag.	Feldspat Kalif.	Hochlichtbrechend	Aggregate grob	Aggregate fein	Sonstiges	Anteil < 6,3 μ
2000—630	3,20	0,34	—	—	—	—	1,66	1,20	—	—
630—200	8,50	6,48	—	—	—	—	0,73	1,29	—	—
200—63	26,20	20,00	—	2,95	1,17	—	—	1,91	0,17	—
63—20	22,60	13,91	0,45	4,40	—	0,27	—	3,02	0,55	—
20—6,3	10,70	2,66	3,60	1,78		0,84	—	1,19	0,63	—
6,3—2,0	8,50	+	+	+		—	—	—	—	8,50
< 2,0	20,30	+	+	+		—	—	—	—	20,30
	100,00	43,39	4,05	10,30		1,11	2,39	8,61	1,35	28,80

könnte es sich um Löß handeln, zumal das Profil am Rande der Lößeinwehungszone des Harzvorlandes gelegen ist (Schriel). Es fehlt aber der zugehörige Quarzanteil in derselben Korngrößenfraktion[1]. Farbloser, anscheinend ver-

[1] In dem von Scheffer u. Mitarb. untersuchten südniedersächsischen Würmlöß lag das Korngrößenmaximum sowohl für Quarz als auch für Feldspat im Bereich von 20—60 μ ⌀.

Tabelle 8. *Mineralbestand im A_2-Horizont*

Korngröße μ ⌀	Horizont %	Quarz	Glimmer	Feldspat		Hochlichtbrechend	Aggregate		Sonstiges	Anteil $< 6{,}3\ \mu$
				Plag.	Kalif.		grob	fein		
2000—630	2,10	0,03	—	—	—	—	1,87	0,20	—	—
630—200	4,90	1,35	0,04	—	—	—	3,34	0,17	—	—
200—63	24,00	17,30	1,38	2,23	1,63	0,08	0,08	1,13	0,17	—
63—20	30,70	4,86	5,85	11,38	1,43	0,77	—	4,86	1,55	—
20—6,3	11,20	1,03	4,45	2,84		0,85	—	1,67	0,36	—
6,3—2,0	6,60	+	+	+		—	—	—	—	6,60
< 2,0	20,50	+	+	+		—	—	—	—	20,50
	100,00	24,57	11,72	19,51		1,70	5,29	8,03	2,08	27,10

Tabelle 9. *Mineralbestand im B_1-Horizont*

Korngröße μ ⌀	Horizont %	Quarz	Glimmer	Feldspat		Hochlichtbrechend	Aggregate		Sonstiges	Anteil $< 6{,}3\ \mu$
				Plag.	Kalif.		grob	fein		
2000—630	3,00	0,14	—	—	—	—	0,96	1,90	—	—
630—200	15,70	9,78	—	—	—	—	1,34	4,85	—	—
200—63	20,20	10,75	0,34	2,51	1,29	0,07	0,34	4,43	0,47	—
63—20	17,60	3,35	2,76	3,50	1,27	1,34	—	4,44	0,94	—
20—6,3	10,00	0,93	3,57	1,60		0,87	—	2,70	0,33	—
6,3—2,0	9,90	+	+	+		—	—	—	—	9,90
< 2,0	23,60	+	+	+		—	—	—	—	23,60
	100,00	24,95	6,67	10,17		2,28	2,64	18,05	1,74	33,50

Tabelle 10. *Mineralbestand im B_2-Horizont*

Korngröße μ ⌀	Horizont %	Quarz	Glimmer	Feldspat		Hochlichtbrechend	Aggregate		Sonstiges	Anteil $< 6{,}2\ \mu$
				Plag.	Kalif.		grob	fein		
2000—630	5,00	0,05	—	—	—	—	0,56	4,39	—	—
630—200	7,50	0,59	—	—	—	—	1,26	5,65	—	—
200—63	10,10	3,85	—	0,96	0,66	0,08	0,08	4,47	—	—
63—20	20,90	9,78	1,36	0,92	0,49	0,63	—	7,43	0,29	—
20—6,3	15,70	4,59	4,06	0,81		0,61	—	5,43	0,20	—
6,3—2,0	22,60	+	+	+		—	—	—	—	22,60
< 2,0	18,20	+	+	+		—	—	—	—	18,20
	100,00	18,86	5,42	3,84		1,32	1,90	27,37	0,49	40,80

Tabelle 11. *Mineralbestand im C-Horizont (Letten)*

Korngröße μ ⌀	Horizont %	Quarz	Glimmer	Feldspat		Hochlichtbrechend	Aggregate		Sonstiges	Anteil $< 6{,}3\ \mu$
				Plag.	Kalif.		grob	fein		
2000—630	6,80	—	—	—	—	—	6,23	0,57	—	—
630 200	7,30	0,12	0,25	—	—	—	6,10	0,83	—	—
200—63	12,20	2,33	4,76	1,40	0,46	0,08	0,75	2,24	0,18	—
63—20	28,50	6,78	5,85	6,52	2,17	0,81	—	5,77	0,60	—
20—6,3	19,20	5,67	1,77	2,57		0,46	—	8,30	0,43	—
6,3—2,0	12,00	+	+	+		—	—	—	—	12,00
< 2,0	14,00	+	+	+		—	—	—	—	14,00
	100,00	14,90	12,63	13,12		1,35	13,08	17,71	1,21	26,00

witterungsstabiler Glimmer und grobe Aggregate sind im A_2-Horizont ebenfalls in bemerkenswerter Menge anwesend.

Die Kies- und Geröllfraktion (über 2 mm ⌀), die vom A_1-Horizont rd. 9%, vom B_1-Horizont sogar 22% des Gesamtbodens ausmacht, besteht ausschließlich aus stabilen, harten Lettenbruchstücken.

III. Das Bodenprofil auf Unterem Buntsandstein

Profilbeschreibung und Ausgangsmaterial

SW Barbis, etwa 100 m SW des Beberteiches ist der Untere Buntsandstein dem Zechsteinletten konkordant aufgelagert. Der Übergang vom Oberen Zechstein zum Unteren Buntsandstein erfolgt kontinuierlich und ist daran zu erkennen, daß die Dolomit- und Kalkknauer in den Letten von Sandsteinbänkchen und glimmerhaltigen Schiefertonen abgelöst werden (Schriel). Die Unterscheidung wurde erleichtert durch die violettrote Farbe und das stumpfere, poröse Aussehen des Zechsteinletten gegenüber dem blassen Ziegelrot der Tone des Buntsandsteins. Die Einschlagstelle lag auf der ebenen Höhe 305,0, etwa 5 m über dem Weg, der vom Beberteich in südliche Richtung führt; ebenfalls unter Fichtenhochwald. Das Bodenprofil lagert mit 70 cm Mächtigkeit über einer verhärteten Schicht aus zersetzten Letten und zwischengestreuten Sandsteinknauern, die als Lesestücke auch auf der Bodenoberfläche anzutreffen sind. Ab 110 cm Tiefe stehen durchgehendere, zum Teil geschichtete Sandsteinpartien an.

Tabelle 12. *Horizontverteilung im Profil auf Unterem Buntsandstein*

Bezeichnung	Tiefe (cm)	Beschreibung
A_1	0—10	schwarzbraun, humos, mit Fichtennadeln durchsetzt
A_2	10—30	braun, sandig
B	30—70	rotbraun, lehmig
		$^1/_2$ cm starkes Gleybändchen eingelagert
C_1	70—110	roter Lettenzersatz und Sandsteinbrocken
C_s	darunter	toniger, glimmerhaltiger Sandstein

Der Profilaufbau zeigt unter einer dünnen Fichtennadelauflage einen 30 cm starken, sandigen A-Horizont, der nach der Farbe noch in einen schwarzbraunen, humosen A_1- und einen helleren, humusarmen A_2-Subhorizont unterteilt wurde. Es folgt der intensiv rotbraun gefärbte, lehmigtonige B-Horizont, der unten mit einem durchlaufenden, grünlichen Gleybändchen gegen den Untergrund abschließt. Der C-Horizont enthält das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung. Die rotbraunen Letten kommen im Profil nur in bereits zersetzter Form vor und bilden zusammen mit verschieden großen Sandsteinbrocken den C_1-Horizont. Der darunter befindliche feinkörnige, glimmerhaltige, tonige Sandstein wird mit C_s bezeichnet.

Mineralbestand

Der qualitative Mineralbestand ist innerhalb des Profiles gleich und unterscheidet sich nicht wesentlich von dem des Zechsteinlettenprofils.

Die *Quarze* zeigen unregelmäßig gerundete und kantige, nie idiomorphe Formen. Getrübte mit gelblichem Schimmer kommen neben glasklaren Exemplaren vor. Brauner Eisenhydroxydbesatz tritt hauptsächlich im unteren Teil

des Profils auf. Die mittlere Korngröße der Quarze liegt im Bereich von 63 bis 200 μ ⌀ und bleibt vom Sandstein bis zur Bodenoberfläche gleich. Die gröbsten Körner gehen nicht über 630 μ ⌀ hinaus.

Bei den *Feldspäten* überwiegen Albite, besonders in Oberflächennähe, während im C-Horizont auch anorthitreichere Plagioklase (Oligoklas) zu finden sind. Der Orthoklasanteil am Gesamtfeldspat ist niedriger als im Zechsteinlettenprofil und beträgt etwa 12%. Die Hauptkorngröße der Feldspäte von 20—63 μ ⌀ ist nur im C_1-Horizont etwas zur Fraktion 63—200 μ hin verschoben.

Die mikroskopisch bestimmten *Glimmer* ließen sich wiederum nach Achsenwinkel, Achsenbild und Farbe im Präparat in zwei Gruppen teilen. Pleochroismus wurde seltener beobachtet. Das Verhältnis der farblosen zu den dunklen

Tabelle 13. *Mineralbestand der Tonfraktionen*

Fraktion μ ⌀	A_1-Horizont	A_2-Horizont	B-Horizont	C_1-Horizont	C-Horizont
<2	Illit Chlorit Quarz Hämatit	Illit Chlorit Feldspat Quarz Hämatit	Illit Chlorit Hämatit Quarz Feldspat	Illit Chlorit Hämatit Feldspat Quarz	Chlorit Illit Feldspat Quarz Hämatit
2—6,3	Quarz Feldspat Glimmer Chlorit Hämatit	Quarz Glimmer Feldspat Chlorit Hämatit	Quarz Glimmer Feldspat Chlorit Hämatit	Glimmer Chlorit Quarz Feldspat Hämatit	Quarz Feldspat Glimmer Chlorit Hämatit

relative Quantität ↓ abnehmend

Glimmern beträgt im Sandstein 2:1 und ist in den oberen Bodenhorizonten ähnlich. In Richtung zur Profiloberfläche nehmen die Glimmerblättchen an Zahl zu, werden aber kleiner. Die mittlere Korngröße sinkt von 63—200 μ auf 6,3—20 μ herunter.

Die *grobkörnigen Aggregate* treten im ganzen Profil in den Fraktionen über 63 μ ⌀ auf. Es handelt sich zum überwiegenden Teil um hell- bis mittelbraune, eckige Sandsteinbröckchen. Daneben gibt es in kleineren Mengen durch Tonsubstanz oder Eisenhydroxyd konglomeratisch verkittete Quarze und Feldspäte, die je nach Art ihres Bindemittels rotbraun, grünlichweiß oder schwarzbraun gefärbt sind.

Feinkörnige Aggregate gibt es nicht so viele wie im Zechsteinlettenprofil. Sie treten aber wieder in allen Korngrößen auf, vor allem im B-Horizont. Das tonige Material, aus dem die flachrunden Aggregate zusammengesetzt sind, entstammt dem Buntsandsteinletten primär und sekundär.

An *sonstigen* Mineralen kommen im Profil vor: hochlichtbrechende, Glaukonit, Hämatit, opake und isotrope.

Der *Tongehalt* im Buntsandsteinprofil ist nicht ganz so hoch wie im Zechsteinlettenprofil. Das liegt vor allem daran, daß beim Zerfall des Sandsteins nicht soviel Tonmaterial frei wird. Der tonige Sandstein im C_s-Horizont enthält nur 7% Grob- und Feinton und 6% feine Aggregate. Dagegen besitzen der B- und der C_1-Horizont einen Gesamttongehalt von je rund 50%. Die Hauptmenge davon darf sicher dem Buntsandsteinletten und Schieferton zugerechnet werden, die zwar bei ihrem Zerfall im C_1-Horizont bereits der Einwaschung von oben

ausgesetzt waren, deren ursprünglicher Tongehalt aber dem des Zechsteinletten ähnlich gewesen sein dürfte. Im A-Horizont beträgt der Gesamttonanteil rund 30—35%.

Die Fraktionen $< 2\,\mu$ ⌀ bestehen in den Bodenhorizonten überwiegend aus Illit und Chlorit, daneben erscheinen in wechselnder Reihenfolge Quarz, Feldspat und Hämatit; letzterer besonders in den rot gefärbten B- und C_1-Horizonten. Im Sandstein selbst nimmt der Chlorit in der Fraktion $< 2\,\mu$ ⌀ die erste Stelle vor dem Illit ein, es folgt der Feldspat vor Quarz und Hämatit. Relativ viel Feldspat gibt es im A_2-Horizont. In der Grobtonfraktion rangieren Glimmer und Quarz vor Chlorit, Feldspat und Hämatit.

Korngrößen- und Mineralverteilung im Profil

Bei der Betrachtung der Korngrößenverteilung ist am auffälligsten, daß der Hauptkorngrößenbereich des Sandsteins von 20—200 μ ⌀ durch das ganze Profil hindurch führend bleibt. Die Ursache hierfür ist darin zu suchen, daß sowohl der Quarz als auch der Feldspat ihre mittlere Korngröße vom C- zum A-Horizont konstant beibehalten. Lediglich im C_1-Horizont ergibt sich eine

Tabelle 14. *Korngrößenverteilung im Unteren Buntsandsteinprofil*

Fraktion μ ⌀	A_1-Horizont	A_2-Horizont	B-Horizont	C_1-Horizont	C-Horizont	
2000—630	5,80	8,20	7,80	2,70	12,60	
630—200	4,80	2,60	4,80	3,70	13,90	
200—63	25,50	24,00	18,60	21,10	28,00	
63—20	22,10	23,40	20,80	23,30	31,50	= 100%
20—6,3	13,90	14,70	12,60	11,30	7,10	
6,3—2,0	11,20	10,60	9,80	8,50	3,20	
< 2,0	16,70	16,50	25,60	29,40	3,70	
Feinboden < 2mm ⌀	93,5	85,8	91,9	96,7	—	= 100%
Bodengerüst > 2mm ⌀	6,5	14,2	8,1	3,3	—	

Tabelle 15. *Mineralverteilung im Gesamtprofil*

Horizont	Quarz	Glimmer	Feldspat	Hochlichtbrechend	Aggregate		Sonstiges	Anteil < 6,3 μ	Summe
					grob	fein			
A_1	33,66	8,09	12,66	2,76	6,73	7,42	0,88	27,90	100,00
A_2	30,61	12,39	13,24	2,42	8,00	5,31	0,93	27,10	100,00
B	17,63	9,51	10,54	1,46	9,47	14,77	1,22	35,40	100,00
C_1	20,71	8,60	13,62	2,24	3,97	11,28	1,68	37,90	100,00
C_s	31,48	7,10	16,91	1,57	28,05	6,33	1,66	6,90	100,00

kleine Abweichung durch Vergröberung des Feldspats, die aber nicht über den Hauptkorngrößenbereich des Profils hinausgeht. Quarz und Feldspat ändern sich hinsichtlich der Quantität nur wenig. Sie nehmen in Richtung auf den B-Horizont etwas ab. Gegenüber dem A_1- ist der A_2-Horizont an Feldspat reicher. Der Glimmergehalt nimmt im Profil nach oben hin leicht zu, ändert aber seine mittlere Korngröße von 63—200 μ im Sandstein über 20—63 μ im C_1- bis zu 6,3—20 μ vom B-Horizont an aufwärts. Tonmaterial ist im B- und C_1-Horizont gleich hoch angereichert, wenn man den Anteil der im B-Horizont etwas mehr vorhandenen feinen Aggregate mitzählt. Da der C_1-Horizont dicht-

Tabelle 16. *Mineralbestand im A_1-Horizont*

Korngröße μ ⌀	Horizont %	Quarz	Glimmer	Feldspat		Hochlichtbrechend	Aggregate		Sonstiges	Anteil $<6{,}3\ \mu$
				Plag.	Kalif.		grob	fein		
2000—630	5,80	—	—	—	—	—	5,03	0,77	—	—
630—200	4,80	2,42	0,03	—	—	—	1,70	0,65	—	—
200—63	25,50	15,05	3,13	3,31	0,24	0,95	—	2,52	0,48	—
63—20	22,10	11,57	1,48	5,75	0,52	0,70	—	2,00	0,08	—
20—6,3	13,90	4,62	3,45	3,02		1,01	—	1,48	0,32	—
6,3—2,0	11,20	+	+	+		—	—	—	—	11,20
<2,0	16,70	+	+	+		—	—	—	—	16,70
	100,00	33,66	8,09	12,66		2,66	6,73	7,42	0,88	27,90

Tabelle 17. *Mineralbestand im A_2-Horizont*

Korngröße μ ⌀	Horizont %	Quarz	Glimmer	Feldspat		Hochlichtbrechend	Aggregate		Sonstiges	Anteil $<6{,}3\ \mu$
				Plag.	Kalif.		grob	fein		
2000—630	8,20	—	—	—	—	—	6,74	1,46	—	—
630—200	2,60	1,36	0,07	—	—	—	1,06	0,11	—	—
200—63	24,00	15,29	2,12	3,65	0,61	0,51	0,20	1,42	0,20	—
63—20	23,40	9,21	2,86	6,36	1,47	1,38	—	1,57	0,55	—
20—6,3	14,70	4,75	7,34	1,15		0,53	—	0,75	0,18	—
6,3—2,0	10,60	+	+	+		—	—	—	—	10,60
<2,0	16,50	+	+	+		—	—	—	—	16,50
	100,00	30,61	12,39	13,24		2,42	8,00	5,31	0,93	27,10

Tabelle 18. *Mineralbestand im B-Horizont*

Korngröße μ ⌀	Horizont %	Quarz	Glimmer	Feldspat		Hochlichtbrechend	Aggregate		Sonstiges	Anteil $<6{,}3\ \mu$
				Plag.	Kalif.		grob	fein		
2000—630	7,80	—	—	—	—	—	6,26	1,54	—	—
630—200	4,80	0,36	0,07	—	—	—	2,98	1,39	—	—
200—63	18,60	8,25	2,39	2,78	0,93	0,08	0,23	3,48	0,46	—
63—20	20,80	5,94	3,12	5,28	0,37	0,67	—	4,90	0,52	—
20—6,3	12,60	3,08	3,93	1,18		0,71	—	3,46	0,24	—
6,3—2,0	9,80	+	+	+		—	—	—	—	9,80
<2,0	25,60	+	+	+		—	—	—	—	25,60
	100,00	17,63	9,51	10,54		1,46	9,47	14,77	1,22	35,40

Tabelle 19. *Mineralbestand im C_1-Horizont*

Korngröße μ ⌀	Horizont %	Quarz	Glimmer	Feldspat		Hochlichtbrechend	Aggregate		Sonstiges	Anteil $<6{,}3\ \mu$
				Plag.	Kalif.		grob	fein		
2000—630	2,70	—	—	—	—	—	2,21	0,49	—	—
630—200	3,70	1,30	0,01	—	—	—	1,49	0,90	—	—
200—63	21,10	9,72	1,01	5,04	1,56	0,37	0,27	2,57	0,56	—
63—20	23,30	6,99	4,52	5,44	0,46	1,38	—	3,59	0,92	—
20—6,3	11,30	2,70	3,06	1,12		0,49	—	3,73	0,20	—
6,3—2,0	8,50	+	+	+		—	—	—	—	8,50
<2,0	29,40	+	+	+		—	—	—	—	29,40
	100,00	20,71	8,60	13,62		2,24	3,97	11,28	1,68	37,90

geschlämmt und verhärtet ist, dürften sich die gegenwärtigen Umsetzungen und Substanzbewegungen mehr im und in Richtung auf den B-Horizont abspielen.

Tabelle 20. *Mineralbestand im C_s-Horizont (Sandstein)*

Korngröße μ ⌀	Horizont %	Quarz	Glimmer	Feldspat		Hochlichtbrechend	Aggregate		Sonstiges	Anteil $<6{,}3\mu$
				Plag.	Kalif.		grob	fein		
2000—630	12,60	-	–	—	—	—	12,60	—	—	—
630—200	13,90	0,21	0,19	—	—	—	13,16	0,34	—	
200—63	28,10	15,25	3,75	3,85	0,71	0,10	2,02	2,02	0,30	—
63—20	31,50	13,70	2,05	9,72	1,10	0,82	0,27	2,74	1,10	
20—6,3	7,10	2,32	1,11	1,53		0,65	—	1,23	0,26	—
6,3—2,0	3,20	+	+	+		—	-	—	–	3,20
$<2{,}0$	3,70	+	+	+		—	—	—	—	3,70
	100,00	31,48	7,10	16,91		1,57	28,05	6,33	1,66	6,90

Der hohe Anteil an grobkörnigen Aggregaten im C_s-Sandstein ist als Aufbereitungsrückstand anzusehen und gehört in seiner Masse noch zu Quarz und Feldspat.

Das Bodengerüst (>2 mm ⌀) hat nur 3—14% Anteil am Gesamtboden und besteht ausschließlich aus Sandsteinbrocken (Näheres über das Gleybändchen im Teil B der Arbeit).

IV. Das Bodenprofil auf Zechsteindolomit

Profilbeschreibung und Ausgangsmaterial

Das Profil liegt NE Scharzfeld auf dem Hochplateau der Brandköpfe (391,0 m), etwa 200 m westlich des oberen Eingangs der Einhornhöhle, unter lichtem Buchenhochwald (Geol. Meßtischblatt Bad Lauterberg). Die über ihre Umgebung herausragende Höhe der Brandköpfe wird gebildet von den klippenartig aufstrebenden, gebankten Massen des Hauptdolomits des Mittleren Zechsteins, der hier auf devonischer Grauwacke aufliegt.

Tabelle 21. *Horizontverteilung im Profil auf Zechsteindolomit*

Bezeichnung	Tiefe (cm)	Beschreibung
A	0—20	schwarzgrau, humos, durchwurzelt
C_1	20—60	hell bräunlichweiß, feinsandig-porig
C_2	60—100	hell bräunlich, mit zunehmender Tiefe stärker mit dunkelbraunen Anteilen durchsetzt, sandig-porig bis gekörnt
C_3	100—125	helle, weißlichgraue Dolomitzersatzzone
C_4	darunter	Dolomit, massig, gebankt

Der Profilaufbau zeigt unter einer dichten Schicht von mildem Buchenwaldhumus ein typisches A-C-Profil: humos-sandige, grauschwarze Oberschicht, darunter fast ohne Übergang die sandige bis bröckelige, weißlichgraue Dolomitverwitterungsschicht, die infolge der darin auftretenden Farbverschiedenheiten in drei Zonen — C_1, C_2 und C_3 — aufgegliedert wurde. Dolomitbrocken bis über Faustgröße finden sich in allen Horizonten. Der Feinbodenanteil nimmt gewichtsmäßig von rund 70% im A-Horizont bis auf 30% im C_1-Horizont ab. Die Bodenflora wurzelt nur in der humosen Schicht, während die Wurzeln der Bäume durch das ganze Profil bis in das unverwitterte Gestein vordringen.

Das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung im C_4-Horizont ist ein gelblichweißer, kavernöser, feinkörniger, sehr reiner Dolomit[1]. Bei der Dünnschliff-

[1] Werksanalysen des Dolomitwerkes Scharzfeld geben folgende Zusammensetzung an: 43,1% $MgCO_3$, 53,2% $CaCO_3$, 0,9% $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ und etwa 2% SiO_2 (zum Teil als Quarz).

untersuchung wurden bis zu 98% Dolomit in meist idiomorpher Ausbildung festgestellt. Der Rest besteht aus Eisenhydroxydkonkretionen und Tonmineralen sowie gelegentlichen feinen Quarz- (Feldspat-) Körnchen. Der in Monochloressigsäure unlösliche Rückstand beträgt 0,7—0,8% und besteht aus Quarz, Illit, Goethit und Feldspat. Die mikroskopisch untersuchten Fraktionen des Lösungsrückstandes enthielten rund 96% Quarz und 4% Feldspat (korrodierte Plagioklase).

Mineralbestand und Korngrößenverteilung

Die mineralische Hauptkomponente im Scharzfelder Bodenprofil stellt der *Dolomit*, der mit 90—96% in allen Horizonten vertreten ist. Schon im anstehenden Ausgangsgestein liegt die Korngröße der Einzelindividuen fast ausschließlich im Bereich von 20—63 μ ⌀, und dieses Maximum in der Korngrößenverteilung zieht sich durch das ganze Profil. In den gröberen Kornklassen liegt der Dolomit aggregiert und in Gesteinsbruchstücken vor. Diese zerfallen nach und nach in ihre Einzelminerale, die im Profil von unten nach oben relativ angereichert werden und nur sehr langsam weiter verwittern. Idiomorph ausgebildete Dolomitkristalle finden sich im oberen A-Horizont ebenso wie im frischen unzersetzten Ausgangsmaterial.

Tabelle 22. *Korngrößenverteilung im Zechsteindolomitprofil*

Fraktion (μ ⌀)	A-Horizont	C_1-Horizont	C_2-Horizont	C_3-Horizont	
2000—630	6,2	8,7	8,2	19,2	
630—200	4,0	5,1	5,6	8,3	
200—63	6,3	8,8	10,6	12,7	
63—20	69,7	66,5	62,4	52,3	= 100%
20—6,3	9,1	8,7	9,1	6,1	
6,3—2,0	1,1	0,7	1,2	0,4	
< 2,0	3,6	1,5	2,9	1,0	
Feinboden < 2 mm ⌀	71,4	49,2	40,6	32,4	= 100%
Bodengerüst > 2 mm ⌀	28,6	50,8	59,4	67,6	

Im Vergleich zum Dolomit ist der Gehalt an *Quarz* im Profil nur gering und nimmt vom A- zum C_1-Horizont von 2,6—0,3% ab. Im anstehenden Dolomitgestein wurden Quarzkörner bis maximal 120 μ ⌀ nachgewiesen. In den oberen Horizonten des Profils finden sich aber auch größere Quarzkörner, die im A-Horizont gelegentlich 600 μ ⌀ erreichen. Abgerundete Formen herrschen vor. Seltener treten splittrige Bruchstücke mit muscheligen Bruchflächen auf. Idiomorphe Ausbildung wurde in keinem Fall beobachtet. Meist sind die Quarze klar und frei von Einschlüssen, manchmal sind sie gelblich oder weißlich trüb.

Tabelle 23. *Mineralverteilung im Gesamtprofil*

Horizont	Dolomit	Quarz	Opak	Fe-Konkr.	Sonstiges	Anteil < 6,3 μ	Summe
A	90,26	2,65	1,00	0,92	0,77	4,70	100,00
C_1	95,46	1,20	0,73	0,13	0,28	2,20	100,00
C_2	89,72	1,68	0,73	3,27	0,50	4,10	100,00
C_3	95,84	0,31	0,21	1,91	0,33	1,40	100,00

Sie gehören zur Hälfte in die Korngrößenklasse 20—63 μ ⌀. Im A-Horizont findet sich außerdem ein Drittel mit einer Größe von über 200 μ ⌀, während im C_3-Horizont nur noch wenige Körner diese Größe erreichen.

Tabelle 24. *Mineralbestand im A-Horizont*

Korngröße μ ⌀	Horizont (%)	Dolomit	Quarz	Opak	Fe-Konkr.	Sonstiges	Anteil $<6{,}3\ \mu$
2000—630	6,20	6,15*	0,05	—	—	—	—
630—200	4,00	3,14*	0,72	0,10	0,04	—	—
200—63	6,30	5,74*	0,18	0,14	0,14	0,10	—
63—20	69,70	67,44	1,08	0,54	0,40	0,54	—
20—6,3	9,10	7,79	0,62	0,22	0,34	0,13	—
6,3—2,0	1,10	—	—	—	—	—	1,10
$<2{,}0$	3,60	—	—	—	—	—	3,60
	100,00	90,26	2,65	1,00	0,92	0,77	4,70

Tabelle 25. *Mineralbestand im C_1-Horizont*

Korngröße μ ⌀	Horizont (%)	Dolomit	Quarz	Opak	Fe-Konkr.	Sonstiges	Anteil $<6{,}3\ \mu$
2000—630	8,70	8,67*	—	0,03	—	—	—
630—200	5,10	4,93*	0,11	0,04	0,02	—	—
200—63	8,80	8,50*	0,14	0,07	0,05	0,04	—
63—20	66,50	65,10	0,75	0,55	—	0,10	—
20—6,3	8,70	8,26	0,20	0,04	0,06	0,14	—
6,3—2,0	0,70	—	—	—	—	—	0,70
$<2{,}0$	1,50	—	—	—	—	—	1,50
	100,00	95,46	1,20	0,73	0,13	0,28	2,20

Tabelle 26. *Mineralbestand im C_2-Horizont*

Korngröße μ ⌀	Horizont (%)	Dolomit	Quarz	Opak	Fe-Konkr.	Sonstiges	Anteil $<6{,}3\ \mu$
2000—630	8,20	7,66*	—	0,05	0,49	—	—
630—200	5,60	4,98*	0,20	0,02	0,40	—	—
200—63	10,60	9,46*	0,40	0,16	0,54	0,04	—
63—20	62,40	59,42	0,80	0,35	1,60	0,23	—
20—6,3	9,10	8,20	0,28	0,15	0,24	0,23	—
6,3—2,0	1,20	—	—	—	—	—	1,20
$<2{,}0$	2,90	—	—	—	—	—	2,90
	100,00	89,72	1,68	0,73	3,27	0,50	4,10

Tabelle 27. *Mineralbestand im C_3-Horizont*

Korngröße μ ⌀	Horizont (%)	Dolomit	Quarz	Opak	Fe-Konkr.	Sonstiges	Anteil $<6{,}3\ \mu$
2000—630	19,20	19,17*	—	—	0,03	—	—
630—200	8,30	8,10*	0,02	—	0,18	—	—
200—63	12,70	12,15*	0,07	0,18	0,27	0,03	—
63—20	52,30	50,61	0,14	—	1,27	0,28	—
20—6,3	6,10	5,81	0,08	0,03	0,16	0,02	—
6,3—2,0	0,40	—	—	—	—	—	0,40
$<2{,}0$	1,00	—	—	—	—	—	1,00
	100,00	95,84	0,31	0,21	1,91	0,33	1,40

* Diese Fraktionen enthalten Dolomitaggregate.

Als *opak* treten im ganzen Profil — von oben nach unten zahlenmäßig abnehmend — schwarzbraune, meist kugelig, manchmal unregelmäßig geformte Konkretionen organischer Natur auf. Ihre Größe schwankt zwischen 6 und 600 μ ⌀.

Die ockerfarbigen bis dunkelbraunen, glänzenden, unregelmäßig gerundeten *Eisenhydroxydkonkretionen* sind vor allem im C_2-Horizont angereichert, wo sie mit über 3% an der Mineralzusammensetzung beteiligt sind und dem Horizont die ihn charakterisierende bräunliche Färbung verleihen. In einigen Fällen werden Dolomitkörner von den Konkretionen umschlossen.

Zu den *Nebengemengteilen* gehören vor allem korrodierte, mit Glimmer- und Hämatitschüppchen besetzte Feldspäte (Plagioklase), Disthen (mit $250 \times 120\,\mu$ Größe im A-Horizont bestimmt) und runder Zirkon. Der Anteil an den Nebengemengteilen bleibt in allen Horizonten wesentlich unter 1%. Relativ viele finden sich im A-Horizont.

Um das Vorhandensein von *Kalzit* neben Dolomit mikroskopisch nachweisen zu können, wurden Streupräparate (Gelatinepräparate) mit einer Brechflüssigkeit von $n = 1{,}670$ hergestellt. Diese Brechzahl liegt zwischen n_w(Dolomit) $= 1{,}6790$—$1{,}6980$ und n_w(Kalzit) $= 1{,}6584$ und weit über n_E beider Minerale. Je Horizont wurden 400 Korn ausgezählt. Im gesamten Bodenprofil konnte mikroskopisch kein Kalzit nachgewiesen werden.

Die *Tonfraktionen* $< 6{,}3\,\mu$ ⌀ haben am Scharzfelder Bodenprofil mit 1—5% nur einen sehr geringen Anteil. Sie enthalten in der Hauptsache Dolomit und Illit, außerdem Quarz, Feldspat, Goethit und Talk. Talk wurde nur in den Bodenhorizonten, nicht im Ausgangsgestein gefunden. Neben dem Illit wurde noch ein kaolinitähnliches Tonmineral festgestellt, das sich aber vom gewöhnlichen Kaolinit durch das Vorhandensein einer starken Interferenz bei 14,2 bis 14,4 Å, vom Chlorit durch das Verschwinden dieser Interferenz beim Erhitzen auf 400° C unterscheidet. Die DTA der Tonfraktion erbrachte außer den für Illit und Dolomit charakteristischen Reaktionen noch eine schwache endotherme unterhalb 400° C. Die mit dem Röntgengoniometer erhaltenen Reflexe stimmen in den Intensitäten gut überein mit den von BANNISTER und WHITTARD für einen „Mg-Chamosit" gefundenen. Es könnte sich im vorliegenden Fall um ein ähnliches Tonmineral mit Kaolinitstruktur handeln.

Als Anreicherungshorizonte für die Minerale der Tonfraktionen können der A- und der C_2-Horizont gelten.

Teil B. Feststellung und Identifizierung mikromorphologischer Elemente anhand von Bodendünnschliffen

I. Dünnschliffherstellung

Probennahme

Die wichtigste Voraussetzung für die Strukturuntersuchung im Dünnschliff ist, daß wirklich die natürliche Lagerung eines Bodens zur Betrachtung kommt, d. h. daß durch den Prozeß der Dünnschliffherstellung keine wesentlichen Veränderungen am Porenvolumen des Bodens eintreten. Die Rücksichtnahme

hierauf hat schon bei der Probennahme zu beginnen. Es ist allgemein üblich, Bodenproben durch Eindrücken eines Metallrahmens in die Profilwand zu gewinnen und anschließend daraus wieder kleinere Proben für die Dünnschliffherstellung herauszupräparieren. Dieses Verfahren hat nach eigenen Beobachtungen den Nachteil, daß beim Transport — vor allem sandiger, trockenerer Böden — leicht Bruchrisse auftreten und daß das spätere Herauspräparieren der kleinen Probenstückchen sehr langwierig ist und nicht immer an der gewünschten Stelle erfolgreich verläuft. Den Gelände- und Laborverhältnissen besser angepaßt ist die Probennahme mit Hilfe von Präparatengläsern. Die Glasröhrchen werden horizontal bis zur Hälfte ihrer Länge in die vorher geglättete Profilwand gestoßen. Dann sticht oder bricht man den Boden dahinter ab und verschließt mit Korkstopfen, auf denen Probennummer und Markierung (Pfeil in Richtung Profiloberkante) verzeichnet sind. Die Bodenprobe verbleibt nun — ohne berührt zu werden — während der ganzen Weiterbehandlung in ihrem gläsernen Behälter, bis durch Imprägnierung und Aushärtung Textur und Struktur hinreichend fixiert werden konnten. Der lichte Durchmesser der verwendeten Präparatengläser bestimmt sich aus der Breite eines normalen, für Dünnschliffe verwendeten Objektträgers mit 28 mm. Die Länge betrug 70 mm. Zu berücksichtigen ist, daß sich kleinere Proben schneller und intensiver durchtränken lassen als große. Je Profil oder Horizont können beliebig viele Proben an jeder gewünschten Stelle entnommen werden.

Imprägnierung

Die Imprägnierung erfolgte nach dem Verfahren von Hagerman und Nyström mit Methacrylsäuremethylester. Dazu werden die dem Profil entnommenen Bodenproben in lufttrockenem Zustand mit ihren Glasbehältern in einen Exsikkator gebracht und mittels einer Vakuumpumpe etwa 30 min bis 0,1 Torr evakuiert. Sodann wird das katalysierte Methylmetacrylat aus einem Tropftrichter vorsichtig darübergegossen. Anschließend wird weiter evakuiert, und zwar so lange, bis die Blasenbildung beendet ist. Die Probengläser werden mit Korkstopfen verschlossen, um der raschen Verdunstung der Harzlösung vorzubeugen, und in einen Trockenschrank gestellt.

Der Vorgang der Polymerisation des Methylmetacrylats ist eine exotherme Kettenreaktion, bei welcher Wärme und freier Sauerstoff als Katalysatoren und Beschleuniger wirksam sind. Für die Erhaltung der Tonminerale ist von Bedeutung, daß die Reaktion schon bei Atmosphärendruck und Temperaturen zwischen 45 und 50° C vonstatten geht. Bei einem Zusatz von 0,1 % Benzoylperoxyd als Katalysator und einer Anfangstemperatur von 45° C, die nach einigen Stunden auf 50° C erhöht wird, dauert die Aushärtung im Trockenschrank 2—4 Tage. Dabei ist die Polymerisationsgeschwindigkeit abhängig von Art und Größe der Probensubstanz, die durch Wärmeaufnahme reaktionsverzögernd wirkt. Die bei der Polymerisation frei werdende Wärme wird bei der geringen Aushärtungsgeschwindigkeit und der durch die beschriebene Ausführung gegebenen Wärmeableitung nicht spürbar. Nach erfolgter Aushärtung zerschlägt man das Präparatenglas und kann nun die verfestigte Probe schneiden und schleifen.

Methylmetacrylat[1] enthält im Lieferzustand meist einen Zusatz von Hydrochinon als Stabilisator, wodurch eine vorzeitige Polymerisation bei Transport und Lagerung verhindert werden soll. Um einen ungestörten Reaktionsablauf zu bekommen, muß der Stabilisator entfernt werden. Man erreicht das durch Ausschütteln mit 2 n-NaOH in der Schüttelmaschine. Es muß so oft geschüttelt werden, bis sich die NaOH-Lösung nicht mehr gelb färbt; in der Regel 2—3mal je 10—15 min. Zuletzt schüttelt man mit Aqua dest. Man verwendet einen Glaskolben (500—1000 ml), aus dem sich das farblose Monomere nach dem Absitzenlassen der (gelbbraunen) NaOH-Lösung einfach oben abschütten läßt. Für kleine Mengen ist ein Schütteltrichter geeigneter.

Benzoylperoxyd wird gekörnt geliefert. Da es leicht explosibel ist, sollte es stets in angefeuchtetem Zustand (25% H_2O-Zusatz) gelagert werden. Vor der Mischung mit Methylmetacrylat trocknet man es auf einem Fließpapier.

Fehler bei der Aushärtung: Blasen im Polymerisationsprodukt sind Zeichen eines zu schnellen Reaktionsverlaufes. Sie werden hervorgerufen durch zu hohen Katalysatorzusatz oder zu schnelle Temperatursteigerung. Wird beginnende Blasenbildung bei der Aushärtung beobachtet, dann kann die Probe aus dem Trockenschrank herausgenommen werden und bei Zimmertemperatur langsam weiter aushärten. Ungenügende Durchtränkung der Proben kann verschiedene Ursachen haben. Entweder wurde nicht lange genug evakuiert oder die Probe war noch zu feucht (sie soll lufttrocken sein). Vielleicht war auch das Probenglas beim Aushärten nicht dicht genug verschlossen, so daß die Harzlösung zum größten Teil verdunstete.

Schneiden und Schleifen

Zur Herstellung von Dünnschliffen werden die fertig ausgehärteten und von ihren Glashüllen befreiten Proben mit der Diamantsäge auseinandergeschnitten. Als Kühlflüssigkeit verwendet man Petroleum. Um ein Quellen der Tonminerale zu verhindern, soll möglichst kein Wasser mit der Probe in Berührung kommen. Die nur noch wenige Millimeter dicken Probenstücke erhalten nur einen Anschliff auf trockenen Schleifpapieren, werden dann mit Kanadabalsam auf einen Objektträger aufgekittet und wiederum mit trockenen Papieren der Körnungen 60, 100, 120, 180, 280, 320, 0, o. a. heruntergeschliffen, bis sie anfangen durchscheinend zu werden. Der weitere Feinschliff erfolgt mit Paraffinöl und allerfeinster Korundkörnung auf der Gußeisenplatte bis zum Grau I. Ordnung der Quarzkörner. Die Dauer des Schleifens und die jeweilige Auswahl der verschiedenen Korundkörnungen sind abhängig von der Art und Zusammensetzung des Probenmaterials. Inhomogene, sandig-tonige Zusammensetzung des Schliffes bietet z. B. größere Schwierigkeiten bei der Bearbeitung als ein durchgehend toniges Material. Zuletzt wird der fertige Schliff von Schmirgel- und Schleifresten befreit und mit Kanadabalsam eingedeckt.

II. Optische und röntgenographische Methoden zur Dünnschliffuntersuchung

Probleme der Mineralbestimmung im Dünnschliff

Bodendünnschliffe wurden von allen Horizonten der drei Profile auf Zechsteinletten, Unterem Buntsandstein und Zechsteindolomit angefertigt. In der

[1] Fa. Th. Schuchardt, München.

Mehrzahl der Fälle handelte es sich um vertikale Schnitte durch das Profil mit deren Hilfe sich die Horizonte untereinander vergleichen und vertikale Verlagerungsbewegungen feststellen ließen. Einige horizontale Schnitte dienten der Veranschaulichung des räumlichen Bildes. Die nähere Untersuchung erfolgte mit dem Polarisationsmikroskop bei verschiedenen Vergrößerungen (25-, 100-, 500fach). Es wurde zunächst überprüft, wie weit es möglich ist, den Mineralbestand von Bodenmaterial allein aus dem Dünnschliff zu bestimmen.

Im allgemeinen sind Bodenproben sehr inhomogen. Neben den erkennbaren Mineralindividuen und organischen Resten finden sich Gesteinsbruchstücke, Aggregate und je nach dem Tongehalt verschieden große Mengen feiner Substanzen, die mit dem Polarisationsmikroskop nicht mehr aufgelöst werden können. Es zeigte sich, daß der Feinsubstanzgehalt des Bodens den begrenzenden Faktor für die Mineralbestimmung im Dünnschliff darstellt. In den tonreichen Böden auf Zechsteinletten und Unterem Buntsandstein ließen sich die gröberen Körner, soweit sie nicht dunkel berindet waren, einigermaßen gut nach dem Habitus, nach der Farbe, nach Doppelbrechung, Achsenbild und Achsenwinkel identifizieren. Die Bestimmung der relativen Lichtbrechung von Korn zu Korn wurde jedoch dadurch erschwert, daß die meisten größeren Minerale in einer sehr feinkörnigen Umgebung eingebettet lagen. Nur selten fanden sich einige Mineralkörner, z. B. am Rand von Hohlräumen, die direkt mit dem reinen Einbettungsmittel in Berührung waren. Auch da, wo größere Minerale gehäuft auftraten, befand sich zwischen den Einzelindividuen meist ein Film feiner Substanzen, der die Kanten unscharf und die kleineren Körner verschwommen erscheinen ließ. Die Bewegung der Beckelinie gab bei den undeutlichen Konturen keine eindeutigen Hinweise mehr. So mußte in vielen Fällen auf die Lichtbrechung — sonst das wichtigste Hilfsmittel — verzichtet werden. Die Bestimmungsschwierigkeiten wuchsen mit abnehmender Korngröße. Bei den kleineren, noch klar erscheinenden Körnern waren gute Achsenbilder kaum zu bekommen. Ebenso rar waren kristallographische Umgrenzungen und Spaltrisse, so daß schließlich als Identifizierungsmerkmale nur noch die Doppelbrechung und die Beurteilung des Habitus übrigblieben. Leichter gestaltete sich die Mineraldiagnose im Zechsteindolomitboden, wo störende Feinsubstanzen kaum vorhanden und das Hauptmineral Dolomit mit über 90% vertreten war.

Im Vergleich mit den Untersuchungen im Streupräparat erscheint die Bestimmungsarbeit im Bodendünnschliff aber doch viel schwieriger und ungenauer. Für exakte qualitative und quantitative Bestimmungen kann auf die größeren Möglichkeiten der Streupräparatuntersuchung (Isolations- und Einbettungsmöglichkeiten!) nicht verzichtet werden. Anhand des bereits festgestellten Mineralbestandes ist es dann sehr viel einfacher, die Komponenten des Dünnschliffs zu identifizieren.

Schwierigkeiten bereitet aber immer noch die Feinsubstanz, die mikroskopisch nicht mehr bestimmt werden kann, aber bei allen Verlagerungs- und Strukturbildungsprozessen in der Hauptsache beteiligt ist. Hat man, wie das bei der vorliegenden Arbeit geschehen ist, zuerst den Mineralbestand mit Hilfe der Korngrößenanalyse ermittelt, dann weiß man, aus welchen Mineralen die feinen Korngrößenfraktionen zusammengesetzt sind. Doch kann man auf Grund dieser Kenntnis noch nicht sagen, welcher Bestandteil im Einzelfall als Konkretion

oder Teil einer Fließstruktur im Dünnschliff sichtbar ist. Wie später noch gezeigt werden soll, ist es keineswegs so, daß jede Ansammlung von Feinsubstanz einfach einen Querschnitt durch die Tonfraktion darstellt. Es finden sich Differenzierungen hinsichtlich Qualität, Quantität und Orientierungsgrad. Die Interpretation der im Dünnschliff fixierten Vorgänge ist erst dann richtig möglich, wenn die daran beteiligten Stoffe im Einzelfall klar erkannt werden können. Bis dahin sollte man sich auf eine phänomenologische Betrachtungsweise beschränken.

In dieser Arbeit wurde der Versuch unternommen, einen Teil derjenigen feinen Substanzen, die vor allem im Zechsteinletten- und Unteren Buntsandsteinprofil an der Bildung von Konkretionen und Fließstrukturen beteiligt sind, mit Hilfe röntgenographischer Verfahren aus dem Dünnschliff heraus zu identifizieren. Ungedeckte Dünnschliffe lassen sich mit dem Objektträger einfach in die Probehalterung des Röntgengoniometers (Müller-Mikro-III) einklemmen. Man erhält eine qualitative und beschränkt quantitative Übersicht über den Mineralgehalt des Schliffes. Das Verfahren hat Bedeutung zur Unterstützung der optischen Untersuchung oder wenn enger begrenzte Partien innerhalb eines Horizontes, z. B. Bleichflecken oder verschiedengefärbte oder strukturierte Anteile, miteinander verglichen werden sollen. Allerdings sind die Blattsilikate mit solch einer Übersichtsaufnahme schlecht zu erfassen, es sei denn, sie wären ausnahmslos nach der Basis orientiert. Das ist aber normalerweise in Böden nicht der Fall. Sind Zonen gleicher Orientierung vorhanden, dann beschränken sie sich meist auf kleinere Partien im Dünnschliff. Diese können mit dem Röntgengoniometer nicht mehr untersucht werden. Bei der Durchstrahlung kleinerer Dünnschliffausschnitte verringert sich die Intensität der Reflexe so stark, daß ein Unterschied gegenüber dem Untergrund kaum noch erkennbar wird.

Das Kegelkammer-Verfahren nach BRAITSCH

Mit Hilfe der Kegelkammer nach BRAITSCH (1954, 1957) lassen sich dagegen genau definierte Stellen eines Dünnschliffpräparates untersuchen, wobei Ausschnitte von 0,1 mm Durchmesser noch gut auswertbare Reflexe ergeben. BRAITSCH wandte die Methode zur Texturbestimmung an Faseraggregaten an und gibt in seinen Veröffentlichungen eine ausführliche Beschreibung. Im Gegensatz zur Flachfilmmethode verhindert der kegelförmige Kammerkörper mit 60° Öffnungswinkel die starke Abnahme der Intensität und die Verbreiterung der Linien nach außen hin bei den größeren Abbeugungswinkeln 2ϑ. Damit erhöht sich die Empfindlichkeit des Verfahrens, und es werden auch schwächere Reflexe registriert, die sonst nicht genau erfaßt werden können. Dadurch daß die vollständigen Debye-Scherrer-Ringe aufgefangen werden (sie liegen auf dem Kegelfilm als Halbkreise vor), ist es möglich, unter bestimmten Voraussetzungen Hinweise auf den Orientierungsgrad der Probe zu bekommen (von BRAITSCH eingehend diskutiert).

Die für die Kegelkammer-Untersuchung vorgesehenen, ungedeckten Dünnschliffe werden durch vorsichtiges Erwärmen vom Objektträger gelöst und von anhaftendem Kanadabalsam mit Benzol befreit. Unter dem Mikroskop schneidet man das schon vorher herausgesuchte Untersuchungsobjekt mitsamt einem weiteren Stück des Schliffes ab und klebt es mit Zapponlack auf ein durch-

bohrtes Bleiblättchen. Die Bohrung wird mit Hilfe einer feinen Nadel vorgenommen und hat einen Durchmesser von 0,1—0,5 mm. Das Bleiblättchen dient als Eintrittsblende. Es wird auf der Innenseite des Kammerdeckels mit Klebwachs befestigt und zusammen mit dem Präparat einjustiert. Bei der Auswertung der halbkreisförmigen Kegelfilme benutzt man zweckmäßigerweise ein Nomogramm nach Braitsch, aus dem zu den gemessenen Radien der Debye-Scherrer-Halbkreise der Abbeugungswinkel direkt abgelesen werden kann. Debye-Scherrer-Ringe erhält man nur von einer sehr feinkristallinen Probensubstanz. Gröbere Kristalle ergeben punktförmige Laue-Reflexe, die sich nur sehr umständlich mit Hilfe der gnomonischen Projektion auswerten lassen. Aus der Art der vorkommenden Reflexe läßt sich auf die korngrößenmäßige Zusammensetzung der Probe schließen. Für die hier zur Aufgabe gestellte Identifizierung der Dünnschliffelemente genügte es, die Aufnahmen qualitativ auszuwerten. Von einer Texturuntersuchung wurde vorerst abgesehen. Es hätte deshalb auch eine für die speziellen Anforderungen umgebaute Debye-Scherrer-Kammer verwendet werden können. Da die etwas umständliche Umrechnung anhand des Nomogramms und die Rücksichtnahme auf die elliptische Verzerrung der Debye-Scherrer-Halbkreise hierbei fortfallen, würde die Auswertung der einfachen Pulverdiagramme zu exakteren Ergebnissen führen.

III. Das Bodenprofil auf Zechsteinletten

Strukturübersicht

Hier soll zunächst das mikromorphologische Strukturbild des Bodens, wie es sich im Dünnschliff darbietet, für jeden Horizont des Profils übersichtsmäßig beschrieben werden. Im Anschluß daran wird auf die wichtigsten Strukturelemente, ihre Identifizierung und ihre Erscheinungsformen näher eingegangen.

Der *Zechsteinletten* zeigt im Dünnschliff eine sehr einheitliche, nur durch horizontale Trockenrisse aufgelockerte, feinkörnige, doppelbrechende Grundmasse, in der unorientiert und weit verstreut einzelne größere Quarze und Feldspäte eingebettet liegen. Die Farbe der Grundmasse ist ein gleichmäßiges gelbrötliches Braun. Andersfarbige Konkretionen sind nicht zu erkennen. Der Unterschied gegenüber fester aggregierten Anteilen macht sich durch geringfügige Farbvertiefung bemerkbar. Eine Feinschichtung ist nur ganz schwach angedeutet. Die doppelbrechenden Anteile löschen im allgemeinen unregelmäßig aus, jedoch läßt sich eine strichweise Übereinstimmung erkennen. Eine Einregelung der Blattsilikate nach der Basis ist nur geringfügig vorhanden.

Gegenüber dem fast eintönig porphyrisch strukturierten Letten bietet das *Bodenprofil* darüber im A- und B-Horizont ein buntes Nebeneinander verschiedenster Strukturelemente. Die Horizonte sind keineswegs in sich homogen. Grobe und feine Minerale sind nicht gleichmäßig miteinander vermischt, wie es im Letten annähernd der Fall ist und wie es nach der Korngrößenanalyse den Anschein haben könnte. Im A- wie im B-Horizont liegen Ansammlungen grober Quarze, Feldspäte und Glimmer und feinsandige sowie sehr tonreiche Partien mehr oder weniger scharf voneinander getrennt nebeneinander vor.

Im A_1-*Horizont* überwiegen allerdings die grobkörnigen Partien. Innerhalb dieser befinden sich die Mineralkörner in Einzelkornstruktur. Die feine Zwischenmasse ist gelblich- bis dunkelbraun und schwach doppelbrechend. Vielfach

werden die Mineralkörner eingehüllt oder verbunden durch dunkel- bis schwarzbraune, wolkenartige Feinsubstanz, die nur selten Doppelbrechungseffekte zeigt und an manchen Stellen zu opaken, schwarzen Konkretionen zusammengeballt

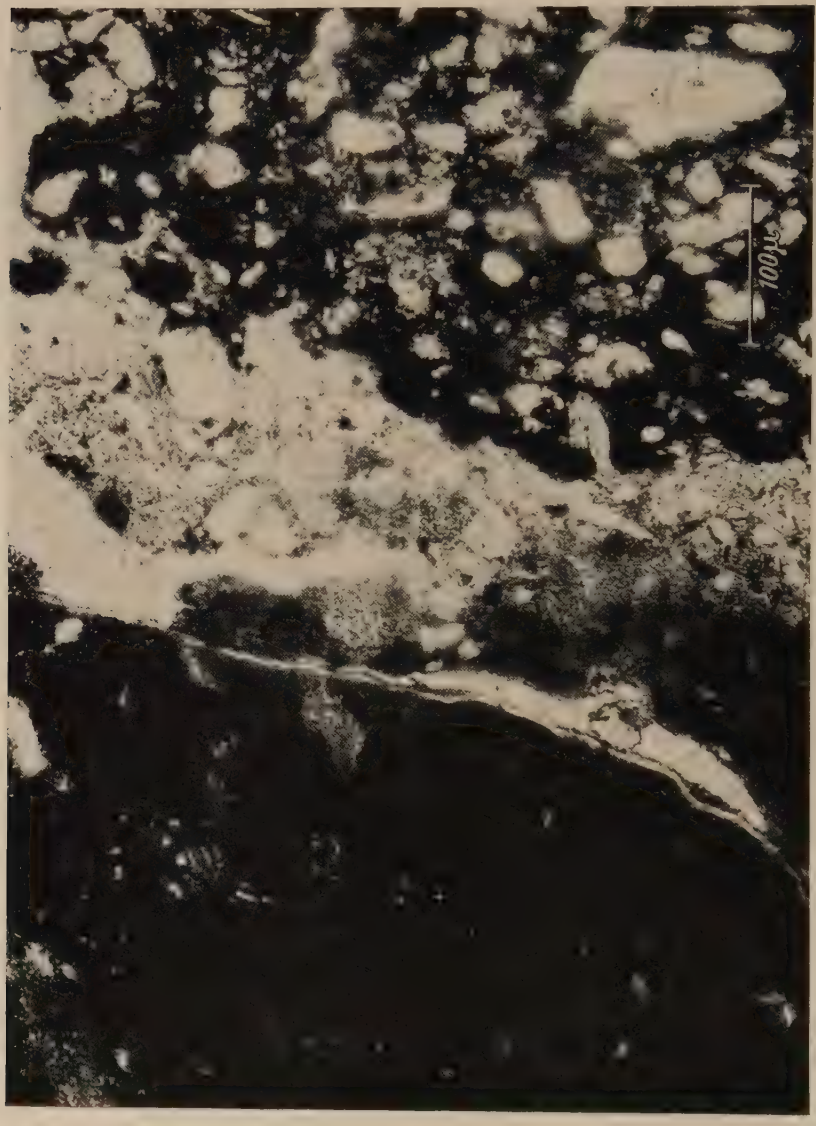

Abb. 1. Rand eines Bleichfleckens im B_t-Horizont. Die grobkörnige, gebleichte Zone (*b*, Mitte) stößt fast ohne Übergang an eine dunkelrotbraune, feinkörnige, kompakte Partie (*a*, links). Nahe dem Rand des Bleichfleckens ist das gelöste Eisen als FeOOH in der Grundmasse wieder ausgeschieden (*c*, rechts)

ist. Gelegentlich sind rötlichbraune, in sich homogene, feinkörnige Bröckchen in die groberen Partien eingelagert. Dazwischen erkennt man in Zersetzung begriffene, braun bis rötlich gefärbte organische Reste. Die Hohlräume in der Nähe der Bodenoberfläche sind unregelmäßig geformt und ohne Wandanlagerungen. Hämatitschüppchen sind vorwiegend auf Feldspäten anzutreffen. während die Quarze meist ein blankes Aussehen haben.

Der *A_2-Horizont* setzt sich zu etwa gleichen Teilen aus sehr grobkörnigen (100—300 μ mittlere Korngröße) und feinerkörnigen ($< 60\ \mu$) Partien zusammen, die scharf voneinander getrennt sind. In den letzteren sind die einzelnen Mineral-

Abb. 2. Dasselbe wie Abb. 1 bei gekreuzten Nikols

körner sehr dicht aneinandergelagert. Die Zwischensubstanz ist dunkel- bis schwarzbraun, wolkig und leuchtet bei gekreuzten Polarisatoren kaum auf. Demgegenüber sind die grobkörnigen Partien nicht so dicht in sich zusammengeballt. Zwischen den einzelnen großen Quarz- und Feldspatkörnern bleibt mehr Platz für eine rötlichbraune, stärker doppelbrechende Grundmasse. In dieser lassen sich korngrößenmäßig noch grobtonige (2—6 μ) und feintonige (über-

wiegend $< 2\,\mu$) Anteile unterscheiden. Erste Fließbewegungen entlang feinster Spaltrisse und stärkere Einregelung besonders der feintonigen Partien vertikal und parallel der Fließrichtung sind in der Grundmasse erkennbar. Die organische Substanz ist in diesem Horizont schon sehr stark zersetzt, und nur wenige Überreste sind eindeutig als organischen Ursprungs zu identifizieren. Ehemalige Wurzelkanäle fallen durch dicke, schwarzbraune Wandanlagerungen auf. Sie sind oftmals mit gelbbrauner, stark doppelbrechender Feinsubstanz angefüllt. Sonst gibt es im Horizont noch runde, opake, intensiv schwarze Konkretionen sowie ebensolche Konkretionsränder um und an groben Mineralkörnern. Beachtenswert sind wenige kreisrunde, völlig entfärbte Bleichzonen von etwa 0,4 bis 0,9 mm Durchmesser. Hämatitschüppchen sind besonders zahlreich auf Feldspäten anzutreffen.

An der Grenze zum B-Horizont treten mehr und mehr tonige sehr feinkörnige Partien auf, die sich weitgehend mit den grobkörnigen durchmischen. Vielfach liegen die tonigen Partien in Form runder, konkretionsartiger Gebilde innerhalb grobmineralischer Bezirke vor. Die Farbe ist ein stumpfes rötliches Braun. Viele geschlängelte, überwiegend vertikal verlaufende Haarrisse und Spalten durchziehen die geballten tonigen Flecken. Die Feinsubstanz ist vielfach zu Fließtextur einreguliert. Vereinzelt sind kleine Bleichstellen und schwarze, opake Konkretionen (um Mineralkörner herum) zwischengestreut. Der Hämatitbesatz findet sich jetzt auch in stärkerem Maße auf Quarzen und in der Grundmasse.

Der *B_1-Horizont* ist charakterisiert durch die vielen grünlichgrauen Bleichflecken mit bis zu 50 mm ⌀. Im Dünnschliff erscheinen die gebleichten Stellen farblos. Sie sind grobkörnig ausgebildet, doch gibt es auch feinkörnige, kompakte, völlig gebleichte Partien, die dazwischen eingelagert sind und durchweg strenge Parallelorientierung zeigen. Alle gebleichten Anteile sind doppelbrechend. Vielfach durchziehen rötlichbraune, feinkörnige, doppelbrechende Schlieren bänder- und flußartig die Bleichzonen. Hellbraune Feintonsubstanz ist in Spalten und an Hohlraumwänden orientiert abgelagert. Nahe den (unteren) Rändern der Bleichflecken werden diese Ablagerungen aber weitgehend ersetzt durch ausgedehnte, schwarzbraune, opake Massen, die besonders im tiefer liegenden Teil des Horizontes anzutreffen sind. Die Bleichstellen sind rund herum scharf begrenzt. Sie stoßen meist ohne Übergang an die dunkelrotbraunen Partien ihrer Umgebung (s. Abb. 1 u. 2). Von oben her dringen rotbraune, gerundete Anteile in die gebleichten Bezirke vor. Solange sie stabil bleiben, behalten sie ihre dunkle Farbe, doch entfärben sie sich dort, wo sie in kleine Stücke zerbrechen. Größere und kleinere Muskovit- und Biotitblättchen sind reichlich vorhanden. Oft sind sie stark korrodiert oder befinden sich im Stadium beginnenden Aufblätterns.

Im *B_2-Horizont* lassen sich die verschiedenen Strukturbestandteile nach ihren klaren Farben am deutlichsten voneinander unterscheiden. Da gibt es dunkelrotbraune, feste Partien mit einem höheren Anteil an gleichmäßig verteilt eingelagerten, gröberen Mineralkörnern. Ebensolche kompakte aber meist kleinere Partien sind gebleicht und zeigen eine hellgraue Farbe. An einzelnen Stellen treten schwarze, opake Wandanlagerungen und Konkretionen auf. Daneben finden sich dunkelbraune Abschnitte, die eine gelbe, isotrope Feinsubstanz in ihren Zwischenräumen umschließen. Am auffälligsten ist jedoch die hellgelbe

bis rotbraune, sehr feinkörnige, stark doppelbrechende Feinsubstanz, die in Form ganzer Fließströme den Horizont durchzieht und an Auflösungs- und Sedimentationserscheinungen gleichermaßen beteiligt ist. Alle die verschiedengefärbten Anteile liegen zum Teil scharf abgegrenzt nebeneinander vor, gehen an anderen Stellen ineinander über oder bilden vorwiegend im oberen Teil des Horizontes sehr turbulente Partien gegenseitiger Wechselwirkung. In Richtung auf den C-Horizont treten die Bleichzonen zurück. Statt dessen finden sich nestartige Ansammlungen grober, blanker Mineralkörner. Die dunkelrotbraunen Partien beherrschen das Bild mehr und mehr. Die hellrötlichbraunen Fließströme kommen zum Stillstand und versickern. Hämatitkörner gibt es im B_2-Horizont in größerer Menge in der Grundmasse.

Fließ- und Sedimentationserscheinungen im Profil

Die Tatsache der Substanzverlagerungen in Bodenprofilen und die daraus resultierenden, charakteristischen Horizontbildungen sind allgemein und schon seit langem bekannt. Aber erst die Dünnschliffuntersuchung ermöglichte einen Einblick in die Art und Weise der Substanzwanderungen. In vielen Bodenprofilen wurden bereits anhand von Dünnschliffen Fließbewegungen beobachtet und in den letzten Jahren vor allem von Frei und Cline, Cady, McCaleb, Kubiena, Brewer (1956, 1957), Altemüller u. a. beschrieben. Neuerdings werden Fließerscheinungen in Braunerden und Braunlehmen als bodengenetisches Kennzeichen gewertet und als Grundlage für die Vervollständigung der Braunerdenomenklatur herangezogen[1]. Dabei wird die mit dem Mikroskop nicht mehr auflösbare Feinsubstanz als Gefügeplasma und, wenn sie sich in Bewegung befindet, als Fließplasma bezeichnet.

Brewer geht in seinen Arbeiten von den Korngrößen aus. Er bezeichnet die Grundsubstanz, soweit sie nicht näher definiert werden kann, als kolloidales Material und den Anteil davon, der doppelbrechende Schlieren und Säume bildet, als orientiert abgelagerte Tonmineralanhäufungen. Dabei sind die blättchenförmigen Tonminerale in Richtung der kristallographischen *c*-Achse parallel übereinander geschichtet und verhalten sich optisch wie eine einzige, kristallographische Einheit mit einheitlichem Auslöschungswinkel bei verstärkter Doppelbrechung. Es werden vier Grade der Orientierung unterschieden: „strongly oriented" sind Anhäufungen mit durchgehend gleichem Auslöschungswinkel und hoher Doppelbrechung, weniger einheitlich erscheinende Partien gelten als „moderately well oriented", doppelbrechende, aber nicht gleichmäßig auslöschende als „weakly oriented", und „unoriented" ist gleichbedeutend mit isotrop. Brewer zeigte in Laborversuchen, daß eine streng orientierte Ablagerung der Tonminerale sowohl beim kapillaren Aufstieg wie auch beim Einsickern von Tonsuspensionen in den Boden entstehen kann. Eine Abhängigkeit vom Ionenbelag konnte nicht festgestellt werden. Doch spielt das Verhältnis der Tonmenge zu den grobkörnigen Anteilen eine Rolle. Bei hohem Tonanteil wird ein geringerer Orientierungsgrad erreicht.

Träger der Fließerscheinungen im Bodenprofil auf Zechsteinletten ist die bereits erwähnte hellgelbe bis rotbraune, stark doppelbrechende Feintonsubstanz.

[1] Kubiena, Manil, Delecour, Meyer, Altemüller zur Diskussion des Begriffs Sol lessivé, Tagung für Bodenmikromorphologie in Braunschweig-Völkenrode im November 1958.

Diese zeigt eine weitgehende Parallelordnung der Einzelteilchen, die dem Orientierungsgrad „strongly oriented" bis „moderately well oriented" nach BREWER entsprechen würde. Mit der Kegelkammer wurden hellbraune Anteile von

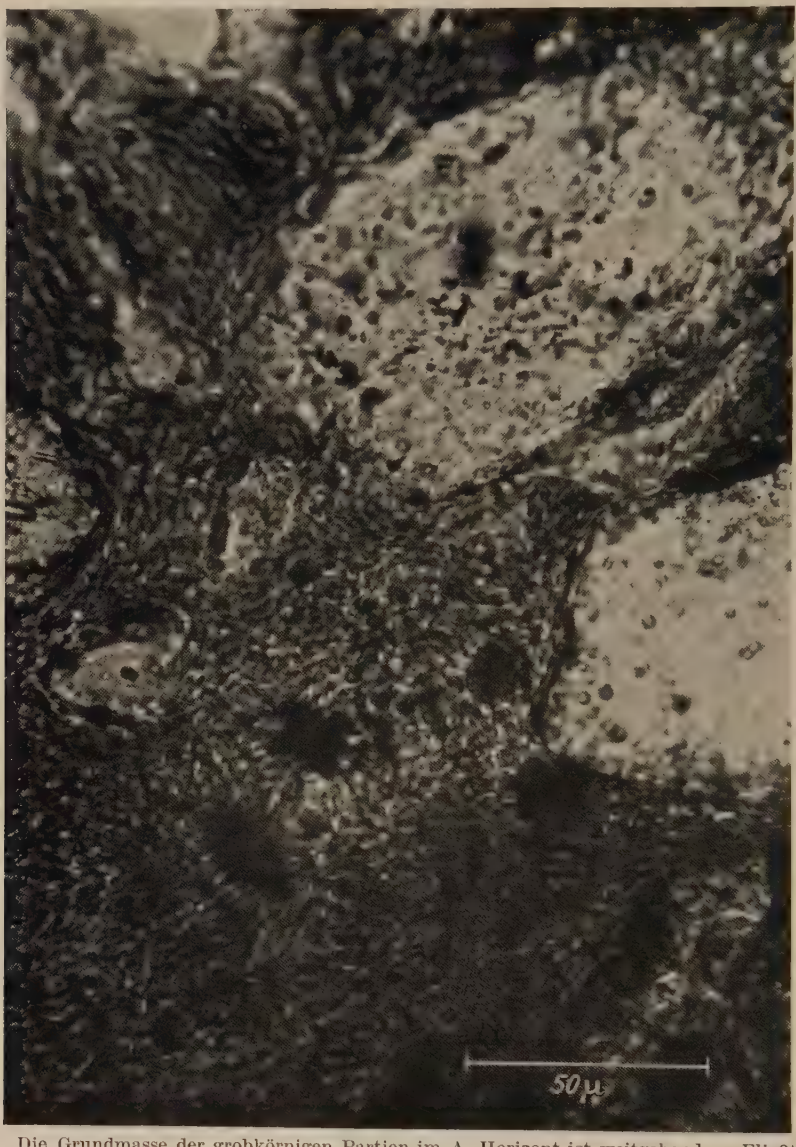

Abb. 3. Die Grundmasse der grobkörnigen Partien im A_2-Horizont ist weitgehend zu Fließtexturen eingeordnet. Die feinen Blattsilikate „umfließen" gröbere Mineralkörner

Fließströmen und Wandanlagerungen in Hohlräumen aus der Übergangszone vom A_2- zum B_1-Horizont, aus dem B_2-Horizont und aus einer Bleichzone im B_1-Horizont auf ihren Mineralbestand untersucht. Die ermittelte Zusammensetzung war in allen Fällen dieselbe, nämlich Illit, Hämatit und Quarz, während Chlorit nur in der Probe aus dem B_2-Horizont vermutet wird, aber nicht mit

Bestimmtheit nachgewiesen werden konnte. Die beschriebenen Fließerscheinungen können also im folgenden als Tonmineralströme bezeichnet werden, da diejenigen Komponenten, die das Erscheinungsbild im Dünnschliff bestimmen,

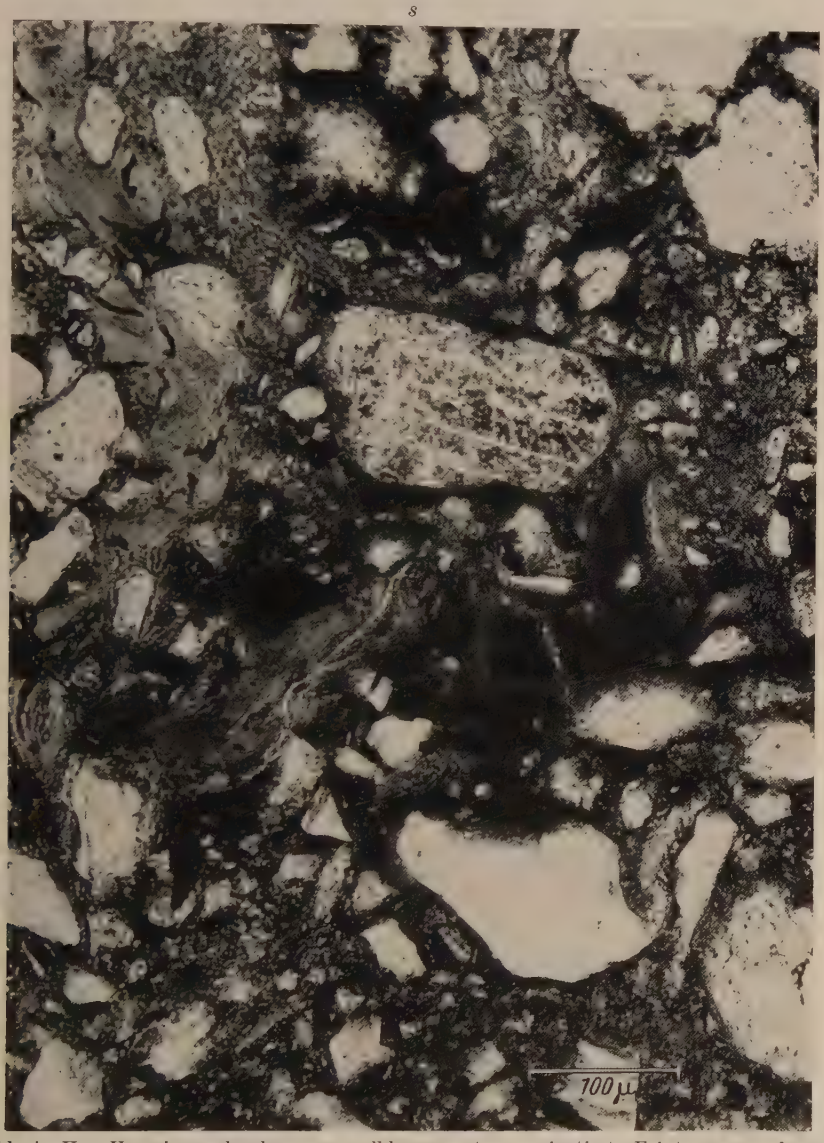

Abb. 4. Von Haarrissen durchzogene, gelbbraune, streng orientierte Feintonansammlungen im A_2-Horizont. Daneben schwarzbraune, wolkig verkittete Stellen (*s*)

ausschließlich der Tonfraktion angehören. Im Gegensatz dazu sollen später noch Erscheinungen diskutiert werden, an denen überwiegend andere, nichtkristalline Kolloide beteiligt sind.

Im vorliegenden Fall ist die Fließrichtung der Tonmineralströme bevorzugt vertikal, es wurde aber gelegentlich auch horizontaler Verlauf beobachtet. Die

Länge der einzelnen Ströme beträgt 0,1—20 mm, wobei eine Zunahme der Durchschnittslänge mit der Profiltiefe zu verzeichnen ist. Bei der Beobachtung

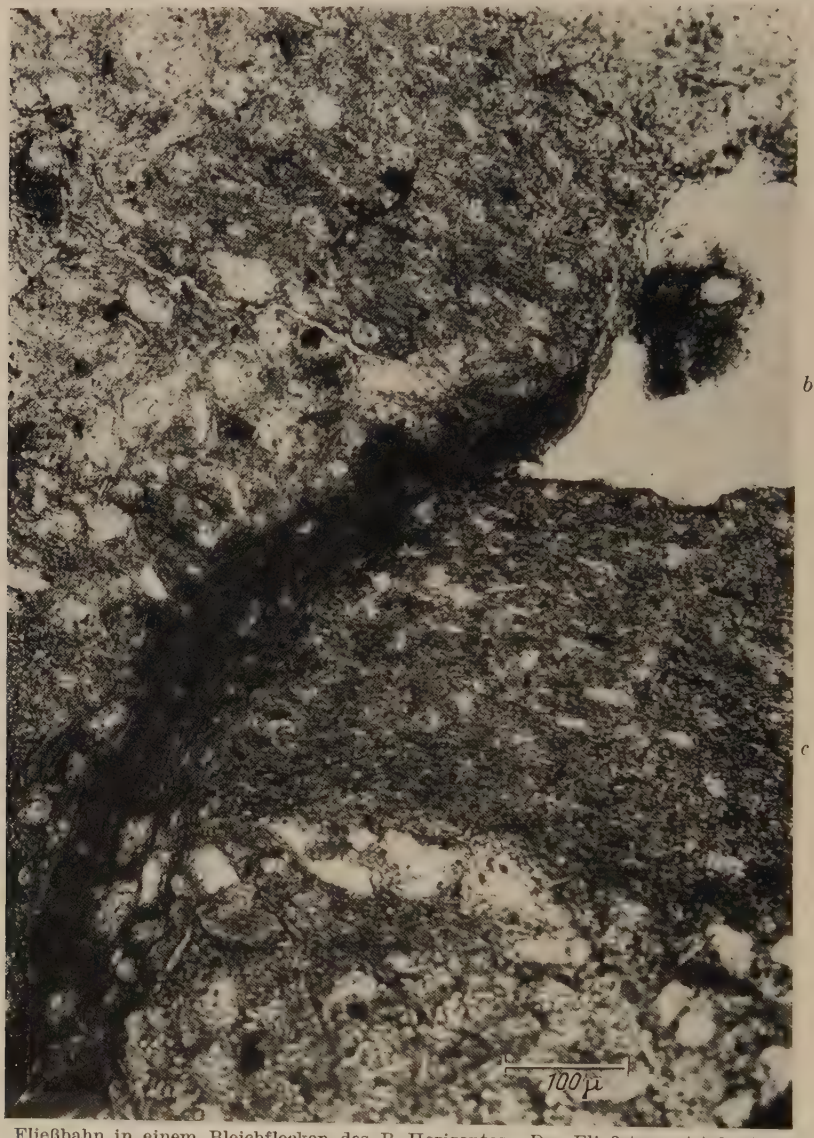

Abb. 5. Fließbahn in einem Bleichflecken des B_1-Horizontes. Der Fließstrom (*a*) beginnt an der tiefstgelegenen Stelle eines Bodenhohlraumes (*b*). Die untere der beiden gegeneinander verworfenen, feingeschichteten Partien (*c*, *c*) verhindert jedoch ein vertikales Abfließen und zwingt zu einem Umweg. Der Sauerstoffgehalt der Sickerwässer führt zur Oxydation des zweiwertigen Eisens und damit zur Braun(gelb)färbung der Fließbahn und ihrer nächsten Umgebung

der Initialpunkte der Tonmineralbewegung sind im Dünnschliff drei phänomenologisch unterscheidbare Typen zu erkennen:

1. Im A_2-Horizont und im Übergang zum B_1-Horizont zeigt die aufgelockerte Grundmasse zwischen den sehr grobkörnigen Mineralen eine mehr oder weniger

deutlich ausgeprägte Einregelung zu flächenhaft ausgedehnten Fließtexturen. Grob- und Feintonteilchen sind dabei gemischt und „umfließen" die schwereren und größeren Mineralkörner (Abb. 3).

Abb. 6. Dasselbe wie Abb. 5 bei gekreuzten Nikols. Auf der Fließbahn findet eine Einregelung der Blattsilikate in Fließrichtung statt

2. In denselben Partien des A_2-Horizontes gibt es einige kleine Flecken reiner Feintonsubstanz, die oft von kurzen, vertikalen Haarrissen durchzogen werden. Entlang dieser Haarrisse erfolgt eine Parallelorientierung, die auch größere Glimmerblättchen der engeren Umgebung mit erfaßt (Abb. 4).

3. In den weitaus meisten Fällen nehmen die Fließbewegungen ihren Anfang in Bodenhohlräumen, und zwar wie zu erwarten an deren tiefstgelegenem Punkt (Abb. 5). Das gilt besonders für den B-Horizont, ist jedoch keineswegs darauf

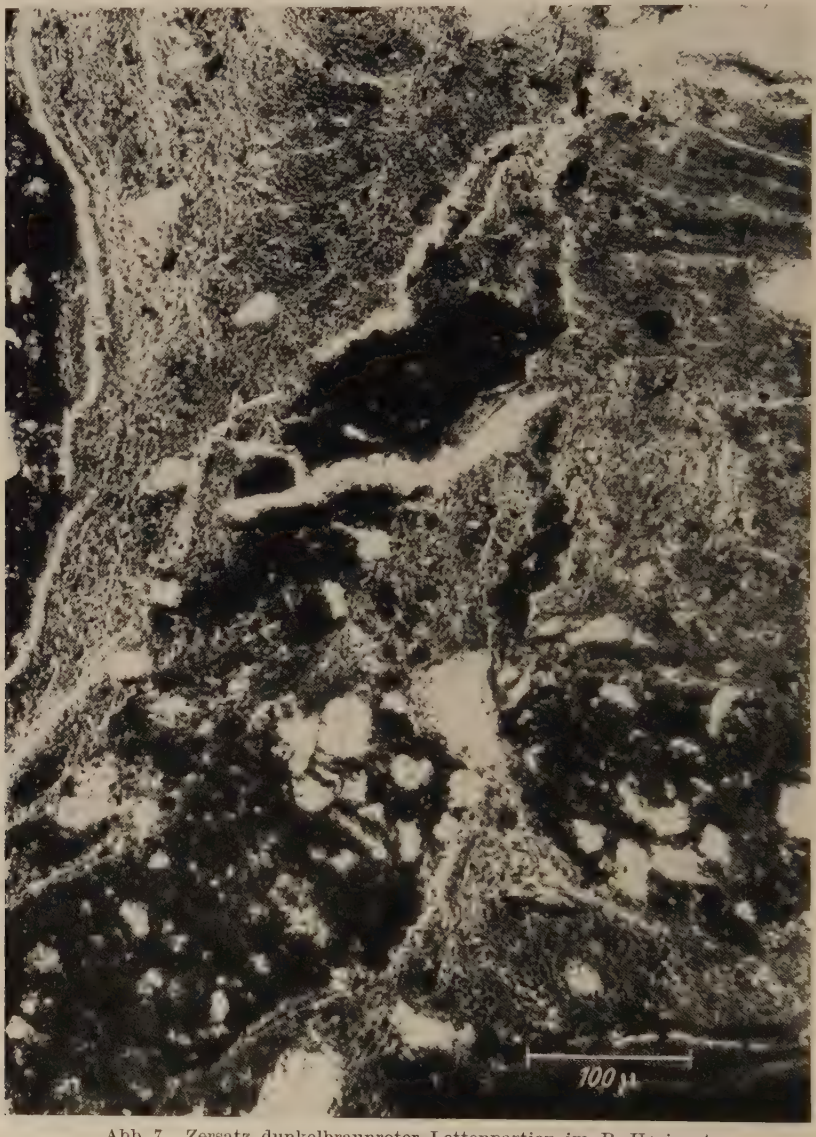

Abb. 7. Zersatz dunkelbraunroter Lettenpartien im B_2-Horizont

beschränkt, wie auch die übrigen Initialpunkte an anderen als den genannten Stellen im Profil auftreten können.

Der weitere Verlauf der Tonmineralströme richtet sich nach Art und Ausmaß der entgegenstehenden Hindernisse. Als solche erweisen sich die dunkelbraunen, wolkig verkitteten Stellen im A_2-Horizont, feinkörnige, feingeschichtete Anteile (z. B. in den Bleichflecken des B_1-Horizontes) und im B_2-Horizont haupt-

sächlich die dunkelbraunroten, kompakten schwach doppelbrechenden Partien. Letztere wurden röntgenographisch untersucht und enthielten Illit, Quarz, Hämatit und Chlorit als Bestandteile der feinkörnigen Grundmasse. Die Hinder-

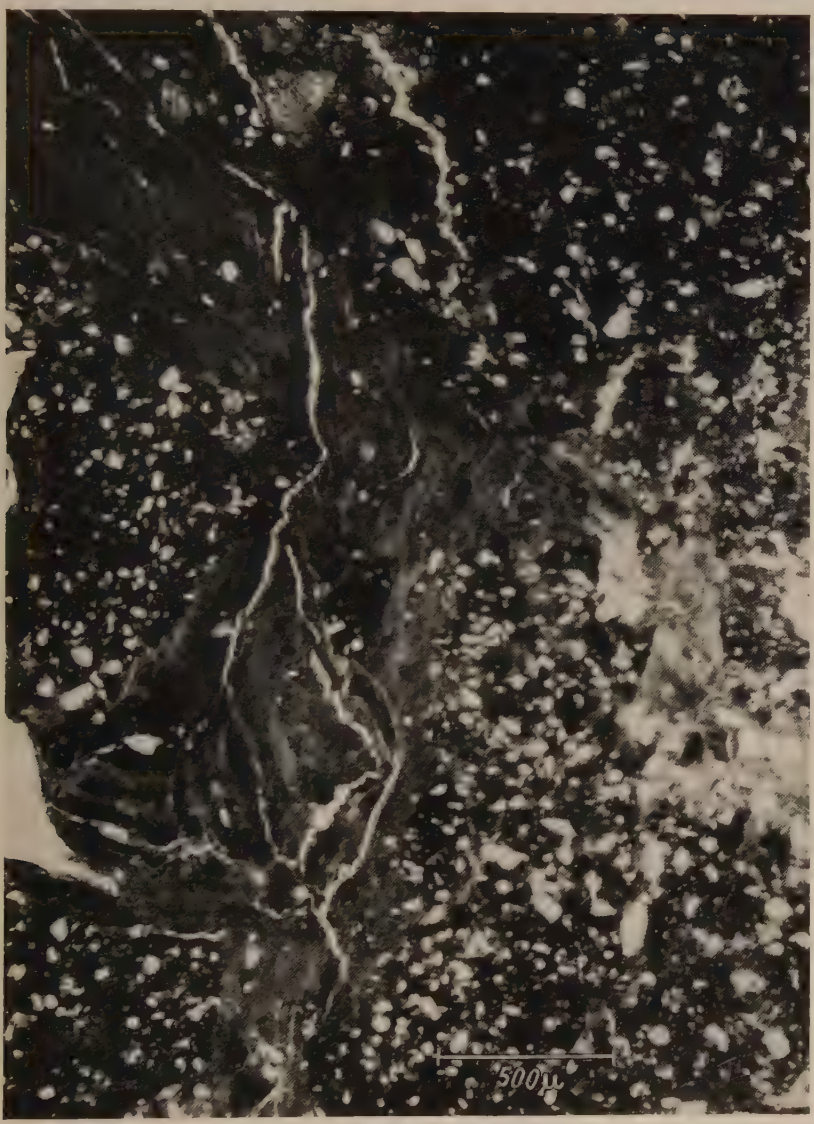

Abb. 8. Übersicht über den vertikalen Verlauf eines Tonmineralstromes im B_2-Horizont. Beim Eindringen in einen Hohlraum (*h*) entstehen horizontal geschichtete Ablagerungen

nisse werden nach Möglichkeit umflossen (Abb. 5 u. 6). An manchen von ihnen teilen sich die Tonmineralströme, wie sie sich überhaupt nach der Tiefe zu immer stärker zerteilen und verästeln. Im B-Horizont werden die dunkelrotbraunen Partien aber oft regelrecht angegriffen, auseinandergebrochen, die Bruchstücke mitgeschwemmt und aufgelöst, d. h. der Fließsubstanz einverleibt (Abb. 7).

Manche Fließbewegungen enden sehr schnell wieder, und zwar dort, wo Verdichtungen in der Grundmasse den Lauf hemmen. Andere versickern nach und

Abb. 9. Ausschnittsvergrößerung aus Abb. 7. Horizontal geschichtete Tonmineralablagerung in einem Sedimentationsdelta

nach infolge Verästelung und Teilung des Stromes. Vielfach enden Tonmineralströme ganz plötzlich in Bodenhohlräumen.

Als treibende Kraft all dieser Bewegungserscheinungen wirkt im humiden Klimabereich zweifellos das Bodenwasser, überwiegend in Form von Sickerwasser, jedoch auch als Kapillarwasser, Adsorptionswasser und als Eis. Im A-Horizont ist das Sickerwasser meist noch flächenhaft verteilt. Es sucht sich

seinen Weg durch die aufgelockerten Teile der Grundmasse, wird an tonig verdichteten Partien gestaut, sammelt sich in Schrumpfungsrissen, die durch Frosteinwirkung erweitert werden, und vereinigt sich zu kleinen und schließlich größeren Strömen, die vertikal und horizontal das Profil durchfließen. Die mitgeschwemmten Grundmasseteilchen regeln sich nach und nach so ein, daß sie den Fließkräften den geringsten Widerstand bieten. Vor allem die Blattsilikate sind dazu in der Lage, indem sie sich mit ihrer Basis parallel der Strömungsrichtung einstellen. Quellungs- und Schrumpfungsvorgänge, Frost und chemische Verwitterung helfen dabei mit, den Grundmasseverband aufzulockern.

Transportiert wird bevorzugt Feintonsubstanz. Ist der Fließstrom stark genug, dann werden auch größere Mineralkörner und aggregierte Brocken mitgeschwemmt und an anderen Stellen wieder abgesetzt. Die Sedimentation erfolgt zunächst in Fließrichtung entlang den Kanalwänden und an den Rändern und in sog. toten Winkeln des Stromes. Der Ablagerung geht dabei die Auflockerung und Einordnung der randlichen Partien parallel, so daß die Vorgänge kaum unterschieden werden können. Als Beweis für die Sedimentation kann gelten, daß mitgeschwemmtes Material immer wieder einen Fließkanal versperrt und das Sickerwasser gezwungen wird, sich daneben einen neuen Weg zu bahnen. Beim Einbruch von Tonmineralströmen in Bodenhohlräume entstehen horizontal geschichtete Ablagerungen. Diese sind deltaähnlich aufgebaut und schieben sich immer weiter in den Hohlraum hinaus. Sie zeigen manchmal eine ausgeprägte Feinschichtung mit abwechselnd dunkleren und helleren rotbraunen Lagen, woraus auf eine gewisse Periodizität des Ablagerungsvorganges geschlossen werden kann (Abb. 8 u. 9). Streng parallel orientierte Feintonfüllungen wurden auch in ehemaligen Wurzelkanälen des A-Horizontes beobachtet.

Unter die Fließbewegungen im Profil einzuordnen ist eine Erscheinung im B_2-Horizont, bei der Blattsilikate zwar in geringem Maße zugegen, aber nicht direkt daran beteiligt sind. Eine dunkel- bis mittelbraune, wolkige, fast isotrope Partie wird von feinen, vertikalen Sickerrissen durchzogen, die ebenfalls isotrop erscheinen und im einfach polarisierten Licht kräftig hellgelb leuchten. Bei stärkerer Vergrößerung gewinnt man den Eindruck, daß es sich hier um Auflösungserscheinungen an der dunkelbraunen, FeOOH-haltigen Substanz durch von oben einfließende, evtl. humussaure Sickerwässer aus der Reduktionszone (B_1-Horizont) handelt. Kegelkammeraufnahmen der hellgelben Sickerkanäle erbrachten keine Reflexe. Die Gelbfärbung könnte durch röntgenamorphe Fe^{+++}-Kolloide hervorgerufen sein. Diese Art der Fließbewegung, die man auch als Kolloidstrom bezeichnen könnte, wurde nur an wenigen Stellen im B_2-Horizont unterhalb der staunassen Zone beobachtet.

Bleichzonen

Wie von verschiedenen Autoren bereits festgestellt wurde, ist die Rotfärbung von Gesteinen und Böden an das Auftreten von Hämatit gebunden, der in kleinen Flitterchen auf Mineralkörnern und diffus im Sediment verteilt anzutreffen ist. Je feinkörniger das Trägersediment, desto intensiver ist bei gleichbleibendem Fe-Gehalt die Färbung. In der vorliegenden Arbeit wurden die Verhältnisse für den Unteren Buntsandstein an einem rotbraunen und einem

grüngrauen Tonschieferstück gleicher Körnung mit dem Röntgengoniometer nachgeprüft. Es ergab sich folgender Mineralbestand:

rotbrauner	*grüngrauer Tonschiefer*
Glimmer	Glimmer
Chlorit	Chlorit
Quarz	Quarz
Feldspat	Feldspat
Hämatit	—

Obwohl die grüngraue Probe keinen Hämatit enthielt, zeigte eine halbquantitative Untersuchung mit dem Röntgenfluoreszenzspektrographen für beide Proben einen gleich hohen Fe-Gehalt an. Daraus läßt sich schließen, daß wohl eine Reduktion, aber kein merklicher Abtransport von Eisen stattgefunden hat.

Die Bleichflecken im Bodenprofil auf Zechsteinletten liegen in überwiegender Menge an der oberen Grenze des Illuvial-B-Horizontes. Sie sind als Folge periodischer Wasserstauung an der Oberfläche der schwer durchlässigen Schicht entstanden, begünstigt durch Sauerstoffmangel und eine hohe Wasserstoffionenkonzentration (CORRENS 1949, MÜCKENHAUSEN). Es wurde gemessen:

für den A_2-Horizont $p_{H(KCl)} = 3{,}91$,

für den B_1-Horizont $p_{H(KCl)} = 4{,}58$.

Die kreisrunde bzw. länglich-zylindrische Ausbildungsform einiger Bleichflecken im durchwurzelten A-Horizont läßt bei diesen auf organogene Entstehung schließen (Abb. 10). Im A-Horizont des Scharzfelder Dolomitbodenprofils konnten solche kreisrunden Bleichflecken konzentrisch um frische Wurzelquerschnitte und in Wurzelkanälen beobachtet werden.

Die Mineralzusammensetzung der gebleichten Stellen wurde optisch und mit Hilfe röntgenographischer Übersichtsaufnahmen aus dem Dünnschliff ermittelt. Die Kegelkammer ließ sich wegen der Grobkörnigkeit der Objekte nicht anwenden. Die untersuchten Partien enthalten in der Hauptsache gröbere Quarze und Feldspäte, Muskovit- und Biotitblättchen. Feinton konnte in entfärbter Form selten beobachtet werden. Der Eisengehalt liegt — im Gegensatz zu den Tonschieferproben des Unteren Buntsandsteins — um etwa 50% niedriger als in den ungebleichten Partien. Die quantitative Untersuchung mit dem Röntgenfluoreszenzspektrographen ergab:

für die rotbraune, ungebleichte Bodenprobe 8,00% Fe_2O_3,

für die grüngraue, gebleichte Bodenprobe 3,42% Fe_2O_3.

Es ist also Eisen weggeführt worden. Unter den reduzierenden Verhältnissen im Innern der Bleichflecken wurde der Hämatit, Träger der roten Farbkomponente, in lösliche bzw. bewegliche Fe^{++}-Verbindungen [z. B. $Fe(HCO_3)_2$, $Fe(OH)_2$] übergeführt und im Profil abwärts oder seitwärts verlagert. Das in den Bleichflecken befindliche Eisen liegt als Fe^{++} in den Chloriten, in den vereinzelten Glaukonitkristallen und evtl. noch als amorphes $Fe(OH)_2$-Gel vor. Diese Minerale und Verbindungen sind für die grünliche Farbe der Stauwasserflecken verantwortlich. Grüne Biotite und grünpleochroitische Chlorite sind zwar auch in den rotbraunen Partien des Profils anzutreffen, werden dort aber von der Farbe des Hämatits überdeckt. In Bereichen mit abnehmender H^+-Konzentration und zunehmendem Sauerstoffgehalt am Rande der Bleichzonen, an Hohlraumwänden und entlang Spaltrissen des B_1- und B_2-Horizontes wurden die weggeführten

Fe^{++}-Verbindungen wieder oxydiert und ausgefällt, zunächst in gelblicher, isotroper, röntgenamorpher Form. Sie alterten zu dunkel- bis schwarzbraunen, opaken, konkretionären Massen, die sich röntgenographisch als Goethit erwiesen.

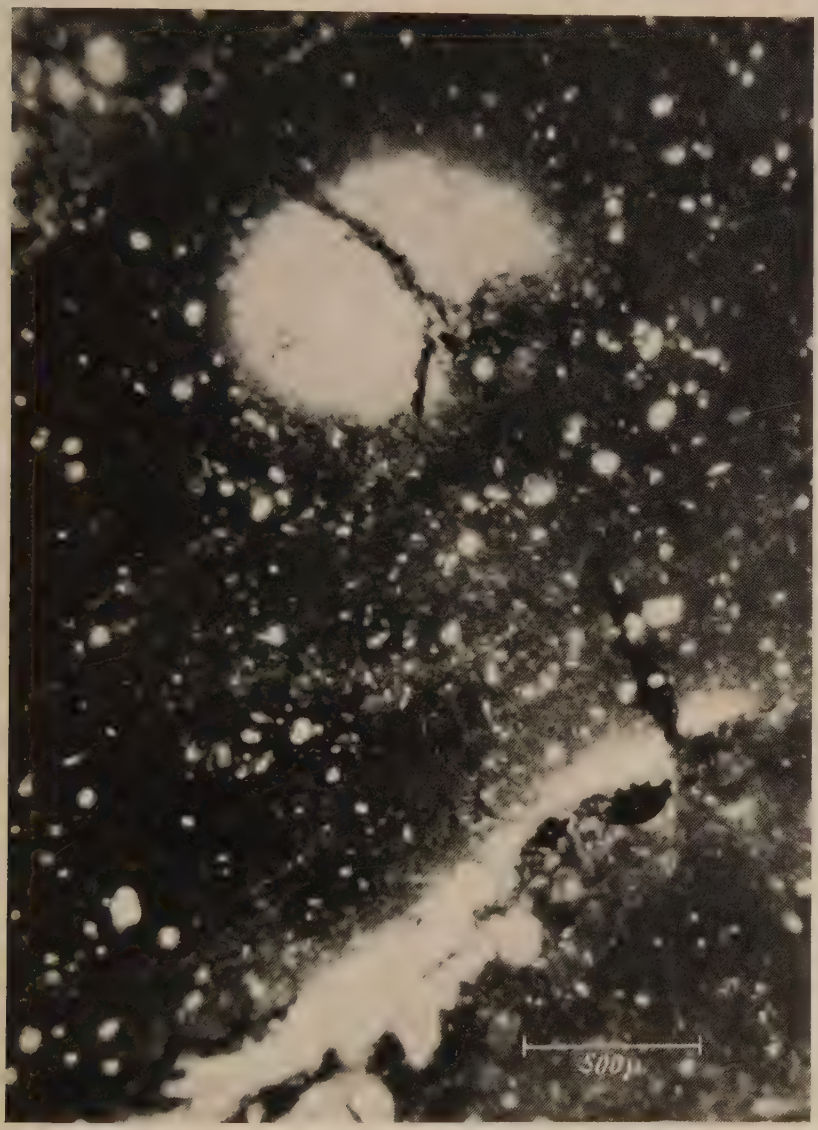

Abb. 10. Kreisrunde und länglich-zylindrische, organogene Bleichflecken im durchwurzelten A_2-Horizont. Nikols gekreuzt

Während an den Rändern der Reduktionszonen die Bleichung auf einzelne, vorgedrungene, rotbraune Bröckchen übergreift, geht von den saue.stoffhaltigen Sickerwässern in Fließkanälen und Hohlräumen eine oxydierende Wirkung aus. Diese macht sich durch eine hellbraune Färbung der berührten Partien bemerkbar (Abb. 5).

IV. Das Bodenprofil auf Unterem Buntsandstein

Strukturübersicht

Das mikromorphologische Bild des Bodenprofils auf Unterem Buntsandstein ähnelt dem des Zechsteinlettenprofils sehr stark. Allerdings sind die Farbunterschiede der Einzelelemente nicht so deutlich ausgeprägt. Gelbbraune Farben herrschen im Dünnschliff vor. Auch das Rotbraun der tonigen Komponenten hat eine Gelbbeimischung, wodurch sich dem Zechsteinletten gegenüber eine bemerkbare Abweichung zum Ziegelrot hin ergibt. Der Buntsandstein ist nicht an eine eigene Verwitterungszone gebunden, sondern sein Zerfall geht in allen Horizonten vonstatten. So finden sich auch im A_1-Horizont inmitten grobkörniger, aufgelockerter Partien rotbraune, kompakte, rein tonige Bröckchen, die eine gut ausgebildete Feinschichtung aufweisen. Es dürfte sich hier um Tonlinsen des C_s-Sandsteins handeln, die bei der Verwitterung freigesetzt wurden. Der C_s-Sandstein zeigt im Dünnschliff solche feingeschichteten Tonlinsen und -bänder zwischen Quarz- und Feldspatlagen. Der Buntsandsteinletten ist demgegenüber im C_1-Horizont schon so starker Zersetzung und Einschwemmung von oben ausgesetzt gewesen, daß nur noch eine geringfügige, an einigen Bröckchen etwas deutlicher hervortretende Feinschichtung bemerkbar ist. Die rotbraune, doppelbrechende Grundmasse, in der vereinzelte gröbere Quarze, Feldspäte und Glimmer eingebettet liegen, wird dabei von vielen feinen Trockenrissen durchzogen. Gelegentlich treten kleine Bleichflecken auf. Durch Wasserstau an der Oberfläche der dichtgeschwemmten, verhärteten Lettenzersatzschicht entstand die bereits erwähnte, $^1/_2$ cm starke, durchgehende, grünlichgraue Bleichzone, welche die Grenze bildet zwischen dem C_1- und dem B-Horizont. Letzterer ist der gegenwärtige Illuvialhorizont mit all den Erscheinungen, wie sie schon am Zechsteinlettenprofil beschrieben wurden.

Die Fließbewegungen setzen schon im A_2-Horizont ein, wo die feine Grundmasse grobkörniger Partien weitgehend zu vertikaler Fließtextur eingeordnet ist und wo an vielen Stellen Ansammlungen von reinem Feinton zu beobachten sind. Der B-Horizont wird durchzogen von hellbraunen Tonmineralströmen, unter deren Einwirkung dunkelrotbraune Partien zerbrochen und verschwemmt werden. Beachtenswert sind häufig auftretende, feingeschichtete Feintonablagerungen an den Kanalwänden und Biegungspunkten horizontal verlaufender Tonmineralströme. Alles Feintonmaterial ist streng parallel orientiert und löscht sehr einheitlich aus. Die Erscheinungen der Eisenverlagerung treten gegenüber denen im Zechsteinlettenprofil zurück. Hämatit wird bei der Tonmineralbewegung mitgeführt. Andere Kolloidströme wurden nicht festgestellt. Dunkelbraun verkittete Partien gibt es im A_1-Horizont, doch dürfte es sich hier vorwiegend um humose Kittsubstanzen handeln. Gelbe, rote und schwarzbraune organische Reste sind hauptsächlich auf den oberen Teil des A_1-Horizontes beschränkt.

V. Das Bodenprofil auf Zechsteindolomit

Strukturübersicht

Das Scharzfelder Bodenprofil ist in seinem Strukturaufbau recht eintönig. Das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung zeigt im Dünnschliff ein sehr kavernöses Gefüge reinen Dolomits mit gelegentlichen feinen Quarzkörnchen und

dunkelbraunen, konkretionsähnlichen, Fe^{+++}-haltigen Abscheidungen. In den darüberliegenden Zersatzhorizonten C_3—C_1 erfolgt eine Auflockerung des Gesteins zunächst in Dolomitaggregate, die dann nach oben zu stärker in ihre Einzelkristalle zerfallen sind. Feinsubstanz ist nur sehr wenig vorhanden. Gelblichbraune Ablagerungen finden sich an manchen Stellen als Kitt zwischen Dolomitkörnern und in Hohlräumen bzw. an deren Rändern. Fließtexturen wurden nirgends beobachtet. Im C_2-Horizont sind besonders viele mittel- bis schwarzbraune FeOOH-Konkretionen über das ganze Gesichtsfeld verstreut angereichert. Hier gibt es auch relativ viel Quarz und Feldspat. Der C_1-Horizont ist demgegenüber wesentlich ärmer an Konkretionen und sonstigen Nebengemengteilen. Der A-Horizont ist charakterisiert durch seinen großen Anteil an rot-, gelb- und vor allem schwarzbrauner organischer Substanz. Vollständige Wurzelquerschnitte, Wurzelfäden, Epidermiszellen u. a. in frischem, aber auch in stark zersetztem Zustand liegen neben schwarzen, opaken, koprogenen Konkretionen und einzelnen großen Quarzen in der körnigen, dolomitischen Grundmasse. Auffällig sind einige gebleichte Stellen, die sich konzentrisch um frische Wurzelquerschnitte herum (als Folge saurer Wurzelausscheidungen) gebildet haben.

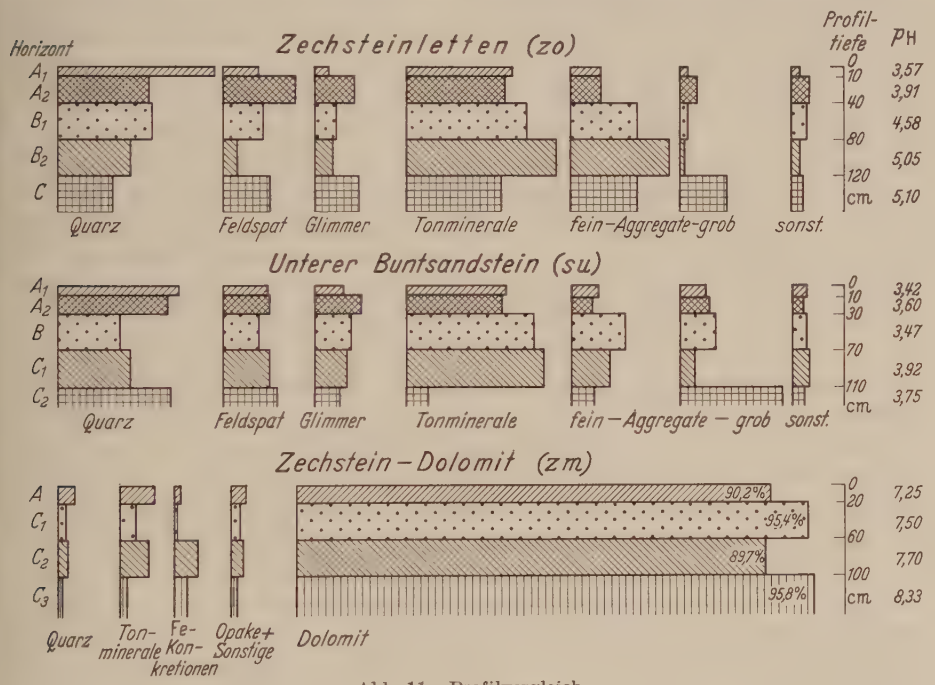

Abb. 11. Profilvergleich

Auswertung und Profilvergleich

Die graphische Darstellung (Abb. 11) gibt eine vergleichende Übersicht über die Verteilung der mineralischen Hauptkomponenten in allen drei Profilen unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Horizontmächtigkeiten. Hier ist noch einmal übersichtlich zusammengefaßt, was im ersten und zweiten Teil der vorliegenden Untersuchungen bereits im einzelnen erarbeitet wurde.

1. Der *Quarz* tritt als verwitterungsstabilste Komponente in allen drei Profilen auf. Er ist überall in Richtung zur Profiloberfläche relativ angereichert. Im *zo-Profil* ist damit eine Kornvergröberung verbunden, die aber diskontinuierlich verläuft. Die Quarze liegen nicht nur als einzelne Körner in der feinen Grundmasse, sondern sie treten vielfach nestartig in grobkörnigen Partien zusammen mit Feldspäten auf. Der Quarzgehalt des *su-Profils* ist demgegenüber etwas niedriger. Die mittlere Korngröße ändert sich nicht mit der Profiltiefe. Hauptquarzlieferant ist hier der C_s-Sandstein, dessen stets gleichbleibende Zusammensetzung die Korngrößenverteilung des ganzen Profils beeinflußt. Im dolomitreichem *zm-Profil* spielt der Quarz mengenmäßig nur eine untergeordnete Rolle. Er zeigt eine deutliche Zunahme in den oberen Horizonten. Es kann sich dabei um eine Anreicherung gelegentlicher größerer Quarzkörner aus dem Dolomitgestein handeln. Idiomorphe Ausbildung der Quarze wurde in keinem der drei Profile beobachtet.

2. Der *Feldspat*gehalt ist in den drei untersuchten Profilen mannigfachen Veränderungen unterworfen. Abbau und Anreicherung kommen nebeneinander vor. Gegenüber den Ausgangsgesteinen enthalten die Böden auf *zo* und *su* in den mikroskopisch untersuchten Fraktionen etwas weniger Feldspat. Dieser ist jedoch vom B-Horizont an aufwärts stärker angereichert. v. ENGELHARDT (1940), HUFFMANN und SALGER beobachteten eine Abhängigkeit der Feldspatverwitterung von der Korngröße. Danach „sind große Kristalle für die Verwitterungslösungen schwerer angreifbar und zerfallen nicht in dem Maße in kleinere, wie die kleinsten durch Auflösung verschwinden" (SALGER). Diese Beobachtung läßt sich für das *zo-Profil* anhand einer Übersichtstabelle (Tabelle 28) bestätigen. Die größeren Feldspäte ($> 63\,\mu$ ⌀) sind im Profil nach oben zu fast geradlinig angereichert. Sie unterliegen natürlich auch einem Zerfall, was z. B. im B_2-Horizont dem Letten (C) gegenüber geringfügig erkennbar wird. Doch in weit stärkerem Maße werden die kleinen Korngrößen angegriffen. Dabei ist die Verwitterungsaktivität im B_2-Horizont besonders groß. Mit dem Zerfall des Zechsteinletten wird hier ein großer Teil der feinen Feldspatkörner zu kleineren Korngrößen (2—6,3 μ ⌀) abgebaut oder völlig aufgelöst. Es dürfte sich bevorzugt um die anorthitreicheren Plagioklase (Oligoklas-Andesin-Bereich) handeln, die in den höheren Horizonten nicht mehr anzutreffen sind. Widerstandsfähiger sind die Albite, die sich oberhalb der Lettenumwandlungszone anreichern. Das Maximum der kleineren Feldspäte im A_2-Horizont wird hervorgerufen durch Plagioklase der Korngrößenklasse 20—63 μ ⌀. Es ist fraglich, ob es sich hier um einen bloßen Anreicherungseffekt handelt. Die Möglichkeit einer Lößeinwehung wurde bereits diskutiert (S. 9). Auch eine Einwehung von den nahe gelegenen Flächen des feldspatreicheren Buntsandsteins wäre denkbar.

Im *su-Profil* erscheinen die Verhältnisse nicht so extrem. Bei der Aufarbeitung des su-Lettens im C_1-Horizont wurden ebenfalls die kleinen Feldspatkörner bevorzugt aufgelöst, während sich die größeren anreichern konnten. Das Verhältnis der über 63 μ großen zu den kleineren Feldspäten beträgt hier 1:1. Infolge Dichtschlämmung und Verhärtung des C_1-Horizontes ist die Verwitterungsaktivität mehr in den darüberliegenden B-Horizont verlagert. Die Auflösung der Feldspäte scheint aber nicht so intensiv vonstatten zu gehen wie im zo-

Profil. Das könnte daran liegen, daß es sich bei den Feldspäten des su-Profils hauptsächlich um verwitterungsstabilere Albite handelt. Es darf aber nicht vergessen werden, daß durch den langsamen Zerfall des C_s-Sandsteins in allen Teilen des Profils eine gewisse Nachlieferung von Feldspäten möglich ist.

Im *zm-Profil* gehören die Feldspäte zu den Nebengemengteilen des Dolomitgesteins. Meist sind sie stark korrodiert und mit Glimmer- und Hämatitschüppchen besetzt.

3. Die mikroskopisch untersuchten *Glimmer* des *zo-Letten* unterliegen bei der Aufarbeitung des Ausgangsmaterials im B_2-Horizont einem starken Zerfall. Die größeren Exemplare blättern auf und zerbrechen, und die kleineren werden bis zu kolloidalen Korngrößen abgebaut. Davon werden in erster Linie die Biotite betroffen, die in den oberen Horizonten nur noch selten vorkommen. Die Muskovite sind verwitterungsbeständiger. Die stabilsten Blättchen reichern sich relativ an und finden sich in größerer Menge z. B. im A_2-Horizont.

Tabelle 28. *Gesamtfeldspat im Profil auf Zechsteinletten*

Horizont	> 63 μ ∅ %	< 63 μ ∅
A_1	4,12	6,18
A_2	3,86	15,65
B_1	3,80	6,37
B_2	1,62	2,22
C	1,86	11,26

Tabelle 29. *Gesamtfeldspat im Profil auf Unterem Buntsandstein*

Horizont	> 63 μ ∅ %	< 63 μ ∅
A_1	3,37	9,29
A_2	4,26	8,95
B	3,71	6,83
C_1	6,60	7,02
C_s	4,56	12,35

Im *su-Profil* nimmt die Zahl der Glimmer in Richtung zur Bodenoberfläche zu, doch ist damit eine Korngrößenverkleinerung verbunden. Der C_1-Horizont ist relativ arm an großen Glimmern. Im Boden darüber sind die größeren Exemplare aber besser erhalten bzw. werden sie aus dem C_s-Sandstein nachgeliefert. Rund 55% der Glimmer des C_s-Sandsteins sind über 63 μ groß (im C_1-Horizont nur 12%). Über $^2/_3$ davon sind Muskovite. — Mikroskopisch bestimmbarer Glimmer wurde im *zm-Profil* nicht gefunden.

4. An *Tonmineralen* treten im *zo-Profil* Illit und Chlorit auf. Diese sind bereits im Letten vorhanden, bei dessen Zersetzung sie frei werden. Wie bei der Untersuchung anhand von Bodendünnschliffen festgestellt wurde, unterliegt das kolloiddisperse Material Wanderungsbewegungen im Profil in bevorzugt vertikaler Richtung. So erfolgt eine teilweise Auswaschung im A-Horizont und eine zunehmende Ansammlung im B-Horizont. Es ist gegenwärtig im Profil etwa 30% mehr Tonmaterial vorhanden als schätzungsweise bei dem Zerfall des Letten frei werden kann. Außerdem muß trotz der stauenden Wirkung der Lettenschichten mit einer Wegfuhr in Kolloid- und Ionenform in seitlicher Richtung und in zugängliche tiefere Teile des Untergrundes gerechnet werden. In dem überschüssigen Tonanteil findet sich von allem, was im Boden bis zu kolloidalen Korngrößen abgebaut wurde. Feine Quarze, Feldspäte und Glimmer lassen sich röntgenographisch besonders in der Grobtonfraktion erkennen. In der Feintonfraktion sind die Glimmer schon so stark zerkleinert, daß ein weitgehender Verlust des Zwischenschicht-Kaliums und ein erhöhter Wassergehalt anzunehmen sind. Es liegen also (nach Correns und Jasmund) sog. unvollständige Glimmer vor, die zur Gruppe der Illite zu zählen sind. Die di- und trioktaedrischen Illite sind in ihrer Masse wohl als Verwitterungsreste der Glimmer anzusehen. Daneben könnte auch eine autigene Bildung im Boden z. B. in der

Nähe verwitternder Feldspäte erfolgt sein. Wie RIMSAITE nachweisen konnte, entsteht Chlorit diagenetisch aus Glimmern, besonders bei der Zersetzung von Biotit. Soweit der Chlorit des *zo-Bodenprofils* nicht dem Letten entstammt, könnte er als ein Verwitterungsprodukt der im B_2-Horizont nachweislich abgebauten Biotite gelten. Verwachsungen von Biotit oder Muskovit mit Chlorit wurden nicht gefunden. Die auf den Glimmern oft beobachteten feinen, transparenten Schüppchen ließen sich nicht näher identifizieren.

Hämatit ist in den Tonmineralströmen enthalten, wird also zum Teil rein mechanisch aus dem A-Horizont ausgeschwemmt. Die Farbe des Eluvial- (A-) Horizontes verblaßt dabei, während die des Illuvial- (B-) Horizontes intensiver wird.

Das *su-Profil* hat einen nur unwesentlich geringeren Anteil an den feinen Korngrößen. Hauptlieferant ist der su-Letten. Der C_s-Sandstein enthält verhältnismäßig wenig Ton. An Tonmineralen treten ebenfalls Illit und Chlorit auf. Auch hier ist von oben her eine Einwaschung in den B- und C_1-Horizont erfolgt. Die Möglichkeiten der autigenen Illitbildung lassen sich unter denselben Voraussetzungen wie im zo-Profil diskutieren.

Im *zm-Profil* sind Tonminerale nur in sehr geringer Menge vorhanden. Während im Lösungsrückstand des Dolomitgesteins nur Illit gefunden wurde, treten im Boden außerdem noch Talk und ein nicht eindeutig identifiziertes, kaolinit- bzw. chloritähnliches Mineral (s. S. 18) auf. Eine Einwaschung aus dem C_1- in den C_2-Horizont ist deutlich erkennbar.

5. Der *Dolomit* bildet sowohl das homogene Ausgangsmaterial als auch die Hauptkomponente im *zm-Bodenprofil*. Das Dolomitgestein, das fast frei von Kalzit und anderen Nebengemengteilen ist, zerfällt unter dem überwiegenden Einfluß der physikalischen Verwitterung (Frost und Eindringen von Baumwurzeln) zunächst in einzelne Brocken, dann weiter in kleinere Aggregate und schließlich in seine Einzelkristalle. Diese besitzen ein ausgeprägtes Korngrößenmaximum bei 20—63 μ $\varnothing$. Sie erweisen sich der weiteren Verwitterung gegenüber als sehr stabil, jedenfalls unter den örtlichen Bedingungen. Hierbei dürfte die Vegetationsform eine wesentliche Rolle spielen. Unter dem Buchenhochwaldbestand des zm-Profils befindet sich als Humusdecke ein milder, leicht zersetzlicher, mullartiger Rendzinamoder (Def. nach KUBIENA), der den A-Horizont auflockert und eine gute Durchlüftung und schnellen Wasserabzug gewährleistet. Im Gegensatz dazu zeigten Dolomitprofile unter Fichten- und Mischwald südlich Scharzfeld und an anderen Orten eine intensive Braunfärbung und Verlehmung des A-Horizontes sowie typische Lösungsformen an eingelagerten Dolomitknauern.

Zusammenfassung

Drei Waldbodenprofile auf Zechsteinletten, Unterem Buntsandstein und Zechsteindolomit am südwestlichen Harzrand wurden mit Hilfe von Korngrößenanalysen, optischen und röntgenographischen Methoden auf ihren qualitativen und quantitativen Mineralbestand untersucht. Außerdem konnte anhand von Bodendünnschliffen ein Einblick in die Mikromorphologie der in ihrer Lagerung nicht gestörten Bodenhorizonte gewonnen werden. Dabei ließen sich mit dem Mikroskop nicht mehr auflösbare Strukturelemente auf röntgenographischem Wege aus dem Dünnschliff heraus identifizieren.

Die Untersuchungsergebnisse ermöglichen Aussagen über das dynamische Geschehen innerhalb der untersuchten Bodenprofile. In der Hauptsache sind es zwei Vorgänge, die dieses Geschehen bestimmen und die allen Profilen gemeinsam sind: der Zerfall des Ausgangsgesteins und die Verlagerung der Zerfallsprodukte. Beide Vorgänge führen zu mikro- wie makromorphologischen Differenzierungen, die als Horizontbildungen sichtbar werden. Wenn für die Bodenprofile auf Grund ihrer Lage auch gleiche Klima- und Witterungsbedingungen angenommen und die Einflüsse geringfügiger, orographischer Abweichungen vernachlässigt werden können, so ist der Gang der Verwitterung dennoch verschieden je nach der Korngrößen- und Mineralzusammensetzung des Ausgangsgesteins und je nachdem, ob der physikalische, chemische oder biologische Angriff überwiegt.

Der Zerfall des Zechsteinletten (zo) ist an eine Verwitterungszone, den B_2-Horizont, gebunden. Hier erfolgt nicht nur die Auflösung des Gesteinsverbandes, sondern unter Mitwirkung des reichlich vorhandenen Bodenwassers auch ein intensiver chemischer Angriff auf die frei gewordenen Komponenten. Im Bodenprofil auf Unterem Buntsandstein sind die chemischen Umsetzungen aus der verhärteten, eigentlichen Zersatzzone der su-Letten und Tonschiefer (C_1-Horizont) mehr in den für Sickerwässer zugänglicheren B-Horizont verlagert. Der su-Sandstein ist wesentlich stabiler als die rein tonigen Gesteine und sein Abbau geht nicht in einer bestimmten Zone vor sich. Der Zechsteindolomit (zm) zerfällt nur sehr langsam unter dem überwiegenden Einfluß physikalischer Verwitterungskräfte. Die Zerkleinerung des Gesteinsverbandes beginnt im C_3-Horizont und zieht sich durch das ganze Bodenprofil bis in den A-Horizont hin.

Verlagert werden in einem Bodenprofil bevorzugt die kolloid- und ionendispersen Verwitterungsprodukte unter der Einwirkung des Sickerwassers. Im humiden Klimabereich führt die Bewegung vertikal nach unten. Fließbewegungen selbst werden aber nur dort sichtbar, wo eine fixierbare Trägersubstanz sie uns anzeigen kann, z. B. die als Tonmineralströme identifizierten Erscheinungen in den tonreichen Böden auf zo und su. Sonst lassen sich nur die Auswirkungen des Transportvorganges am Bild der Mineralverteilung ablesen, z. B. FeOOH- und Tonmineralanreicherung im C_2-Horizont des zm-Profils.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. C. W. Correns, danke ich für die Überlassung und freundliche Förderung der Arbeit. Ebenso danke ich Fräulein Dr. P. Schneiderhöhn und Herrn Dr. O. Braitsch, der mich im Gebrauch der Kegelkammer unterwies.

Literatur

Altemüller, H. J.: Mikroskopische Untersuchung einiger Lößbodentypen mit Hilfe von Dünnschliffen. Z. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkunde **72**, 152—167 (1956). — Bannister, F. A., and W. F. Whittard: A magnesian chamosite from the Wenlock limestone of Wickwar, Gloucestershire. Mineral. Mag. J. Mineral. Soc. **27**, 99—111 (1945). — Bradley, W. F.: Molecular associations between montmorillonite and some polyfunctional organic liquids. J. Amer. chem. Soc. **67**, 975—977 (1945). — Braitsch, O.: Über die natürlichen Faser- und Aggregationstypen beim SiO_2, ihre Verwachsungsformen, Richtungsstatistik und Doppelbrechung. Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **5**, 331—372 (1957). — Röntgen. Orientierungsbestimmung an Glimmern mit besonderer Berücksichtigung der (100)-Regel. Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **4**, 333—342 (1954). — Brewer, R.: Optically oriented clays in thin-sections of soils. Extrait des Rapports présentés au Congrés I, 3. VI. Congr. Internat. de la Science du Sol, Paris 1956. — A petrographic study of two soils in relation to their

origin and classification. J. Soil Sci. **7**, 268—279 (1956). — Brewer, R., and A. D. Haldane: Preliminary experiments in the development of clay-orientation in soil. Soil Sci. **84**, 301—309 (1957). — Cady, J. G.: Rock weathering and soil formation in the North-Carolina Piedmont Region. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **15**, 337 (1950). — Chapman, H. D., J. H. Axley and D. S. Curtis: The determination of p_H at soil moisture contents aproximating field conditions. Soil Sci. Amer. Proc. **5**, 191—200 (1944). — Correns, C. W.: Einführung in die Mineralogie. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1949. — Correns, C. W., u. H. Piller: Mikroskopie der feinkörnigen Silikatminerale. In H. Freund, Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. IV, Teil I, S. 697—780. Frankfurt a. M.: Umschau 1955. — Correns, C. W., u. W. Schott: Vergleichende Untersuchungen über Schlämm- und Aufbereitungsverfahren von Tonen. Kolloid-Z. **61**, 68 (1932). — Engelhardt, W. v.: Zerfall und Aufbau von Mineralen in norddeutschen Bleicherdewaldböden. Chem. d. Erde **13**, 1—43 (1940). — Über die Möglichkeit der quantitativen Phasenanalyse von Tonen mit Röntgenstrahlen. Z. Kristallogr. **106**, 430 (1955). — Frei, E., and M. G. Cline: Profile studies of normal soils of New York II. Soil Sci. **68**, 333 (1949). — Hagerman, T., u. L. Nyström: Impregnering av porösa material med plast för mikroundersökningar. Geolog. Fören. Förh. **74**, 212—217 (1952). — Huffmann, H.: Mineralogische Untersuchungen an fünf Bodenprofilen über Basalt, Muschelkalk und Buntsandstein. Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **4**, 67—88 (1954). — Jasmund, K.: Die silikatischen Tonminerale. Weinheim: Verlag Chemie 1955. — Kubiena, W. L.: Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. Stuttgart: Ferdinand Enke 1953. — McCaleb, S. B.: Profil studies of normal soils of New York IV. Soil Sci. **77**, 319 (1953). — Mückenhausen, E.: Über gleyartige Böden im Rheinland. Z. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkunde **50**, 113 (1950). — Rimsaite, J.: Über die Eigenschaften der Glimmer in den Sanden und Sandsteinen. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **6**, 1 (1957). — Salger, M.: Verwitterung und Bodenbildung auf diluvialen Schotterterrassen. Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **4**, 288—318 (1954). — Scheffer, F., B. Meyer u. E. Kalk: Mineraluntersuchungen am Würm-Löß südniedersächsischer Lößfluren als Voraussetzung für die Mineralanalyse verschiedener Lößbodentypen. Chem. d. Erde **19**, 338—360 (1958). — Schriel, W.: Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen, Blatt Bad Lauterberg, Lief. 340, Nr. 4328, Vertrieb der preuß. geol. Landesanstalt Berlin 1939. — Wolff, T. v.: Beschreibung einer leicht justierbaren Guinier-Kamera für alle Winkelbereiche. Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr. **4**, 243—250 (1954). — Zwetsch, A.: Röntgenuntersuchungen in der Keramik. Ber. dtsch. keram. Ges. **15**, 2—14 (1934).

Dr. Helmut Nordmeyer,
Staatliches Forschungsinstitut für angewandte Mineralogie,
Regensburg, Dörnberg-Palais

Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg

Lebenslauf

Karl Horst Helmut Nordmeyer,

geboren am 16. September 1929 zu Kassel-Wilhelmshöhe, Eltern: Gustav Nordmeyer und Agnes Nordmeyer, geb. Rabe, Bruder Gerhard N. geboren 1939; Vater 1938 als Berufsoffizier nach Linz/Donau versetzt, 1944 Übersiedlung nach Traunkirchen am Traunsee, Herbst 1945 als Reichsdeutsche aus Österreich ausgewiesen, Rückkehr nach Kassel; seit 14. 8. 1956 verheiratet mit der Lehrerin Maria Nordmeyer, geb. v. Stieglitz, aus Schwabach/Mfr., Sohn Wolf-Dieter N., geboren am 12. 2. 1959.

Bildungsgang: 1936–38 Bürgerschule 19/20 in Kassel-Wilhelmshöhe, 1938/39 Grundschule des Pädagogiums in Linz/Donau, 1939–44 Realgymnasium Khevenhüllerstr. in Linz/D., 1944 Gymnasium Gmunden am Traunsee (1944/45 Volkssturm), 1946 bis zur Reifeprüfung im Juni 1948 Realgymnasium Kölnische Straße in Kassel, 1948–50 Gärtnerlehre in der Staatlichen Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau, Kassel-Oberzwehren, mit abschließender Gärtnergehilfenprüfung, 1950–51 Gartenbaubetrieb L. Schaub in Kassel-Wilhelmshöhe.

WS 1951/52 bis WS 1955/56 Technische Hochschule Hannover, Fakultät für Gartenbau, am 3. 11. 1952 Diplom-Vorprüfung und am 19. 11. 1955 Diplom-Hauptprüfung als Diplomgärtner; SS 1956 bis SS 1959 Georg-August-Universität Göttingen, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Studienfächer: Mineralogie, Geologie und Bodenkunde. Beginn der Doktorarbeit im Frühjahr 1957.

Meine akademischen Lehrer waren:
in Hannover die Herren Professoren Busch, Grundmann, de Haas, Kuckuck, Maatsch, Meyer, Nicolaisen, Rathsack, Renard, Schachtschabel, Schulze;
in Göttingen die Herren Professoren Bederke, Correns, Koritnig, Scheffer, Zemann.